Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук филиал «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук»

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

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

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

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

Пермское отделение ЕАГО

ДВАДЦАТАЯ УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

Сборник научных материалов

УДК 550.3 ББК 26.324 Ш 5614

Двадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь: «ГИ УрО РАН», 2019. 248 с.

Сборник содержит материалы, представленные на Двадцатой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в Перми 18-22 марта 2019 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 (ФИЦ ЕГС РАН)

Ответственный редактор

кандидат физико-математических наук Р.А. Дягилев (ФИЦ ЕГС РАН)

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

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

ISBN 978-5-903258-38-3

© «ГИ УрО РАН», ФИЦ ЕГС РАН, 2019

УДК 551.3:550.3 (575.1) НОВАЯ ОСНОВА ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПЛОТИНЕ АНДИЖАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Алимухамедов Илхом Мизратович

Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития РУз, Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан, ilhom75@mail.ru

Аннотация. В работе изложены первые результаты анализа волновых полученных помощью новой системы форм, с инженерно-Андижанского сейсмометрических наблюдений на плотине водохранилища. Выявлено, что максимальные горизонтальные колебания фиксируются на средних высотных отметках тела плотины. Интенсивность сейсмических колебаний на гребне железобетонной плотины меньше, чем на опорном грунте расположенного на береговом склоне, на величину в среднем 0.7 балла по шкале MSK-64. Также что конструкция результаты показали, обладает определенными нелинейными поведениями при сейсмических нагрузках от транзитных землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, плотина, основание, волны, спектр, ускорение, высота, смещение, скорость.

Исследование технического состояния зданий и сооружений с помощью проведения натурных сейсмометрических обследований является важным направлением в инженерно-геофизической науке. Основной задачей натурных обследований, как правило, является определение способности здания противостоять сейсмическим нагрузкам и усилиям от вероятных воздействий. Современным требованиям проведения обследования наиболее полно отвечает инженерно-сейсмометрический метод, который позволяет проводить обследование без нанесения повреждений к конструкциям, в режиме реальной эксплуатации объекта. В качестве источника возмущения при обследованиях инженерно-сейсмометрическим методом выбирается микросейсмический фон. Метод позволяет определять основные динамические характеристики сооружений (частота и форма собственных колебаний, декремент затухания) и по изменению этих характеристик во времени осуществлять мониторинг их технического состояния [3, 5]. Долговременная и безопасная эксплуатация любого крупного капитального инженерного сооружения, к числу которых относятся водохранилища, возможна при создании службы мониторинга [4, 5].

Целью работы была реконструкция цифровой системы сейсмического мониторинга на бетонно-контрфорсной плотине Андижанского водохранилища для оценки ее современного состояния.

Работа выполнялась с использованием имеющейся базы современных приборов и оборудования лаборатории Геофизики и наноминералогии Центра передовых технологий при Министерстве Инновационного развития РУз и пользуясь методологией реализации подобных систем, осуществленных в Чарвакской плотине [6, 7]. Для регистрации микросейсм и землетрясений были использованы цифровые широкополосные сейсмографы СМG-6TD и акселерометры СМG-5TDE компании Guralp, Англия. Сейсмологические данные обрабатывались специализированными программными продуктами Scream-4.5, Geopsy, WinQuake и стандартным офисом Microsoft Excel [1].

Для преобразования в цифровой формат механических колебаний, выдаваемых сейсмоприемниками СМ-3 в виде электрических сигналов, а также для их сохранения, была модернизирована и создана компьютеризированная система сейсмического мониторинга на плотине Андижанского водохранилища (рис.1).



Рис. 1. Схема системы сейсмического мониторинга на плотине Андижанского водохранилища

Система состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП) Webtronics, произведенного в США, и промышленного компьютера EGLOBAL TECHNOLOGY. Эта система управляется с помощью компьютерной программы WinSDR.

В период исследования на плотине Андижанского водохранилища были проведены инструментальные измерения без применения специальных источников колебаний. Первая работа выполнена на гребне плотины. Сейсмологические измерения проводились по методике Накамуры [2, 7].

Вторая основная работа – это измерения кинематических характеристик в ряде точек гидротехнического сооружения с помощью созданной системы сейсмического мониторинга на плотине Андижанского водохранилища.

Для измерения скорости колебаний используются велосиметры, а для ускорения – акселерометры. В нашем случае использовались цифровые велосиметры модели CMG-6TD. Минимальная длительность записи 30 минут. Измерения микросейсм проведены в 16 пунктах регистрации. Основным методом анализа полученных данных во всех пунктах наблюдения является спектральный анализ записей микросейсмических колебаний. В табл. 1 показаны основные значения, полученные в 16 пунктах сейсмологических измерений (рис. 1).

Concentration of the rest of t																
№ пункта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Собственная частота колебаний, <i>f</i> ₀	4.7	4.3	4.2	4.7	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0	4.1	4.6	5.3	4.6	5.1
Отношение амплитуд колебаний (вдоль/поперек)	2.5	1.1	1.5	2.1	7.0	5.2	5.8	4.3	2.5	10.7	13.9	10.6	9.5	10.8	12.9	9.7
Коэффициент затухания поперек плотины	0.22	0.25	0.38	0.38	0.25	0.70	0.48	0.26	1.72	0.25	0.19	0.22	0.47	0.25	0.20	0.25
Коэффициент затухания вдоль плотины	0.25	0.30	2.47	0.74	0.99	1.39	1.69	1.31	0.42	6.22	0.99	0.31	1.00	0.29	0.23	0.22
Коэффициент усиления колебаний в точке измерения	5.6	8.3	7.9	8.3	10.4	9.5	9.6	8.6	20.1	9.4	9.4	9.9	8.3	10.9	8.0	9.8

Основные значения 16ти пунктов сейсмологических измерений

Были проанализированы графики спектрально-временного анализа для всех 16 пунктов.

Для изучения сильных движений и приращения балльности при землетрясениях были установлены два акселерометра CMG-5TDE: на Андижанской плотине (АПЛ) и в естественном грунте неподалеку от водохранилища, на сейсмостанции «Кампррават» (КМР). Эта станция входит в национальную сейсмическую сеть Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУ3.

Таблица 2

Таблица 1

Сравнительные характеристики землетрясений, полученных по ланным лвух акселерометров

			y	скорение пт/	s ²		Приращения	14
N⁰	Дата, время (название региона)	Компо- нента	max/min	KMP	АПЛ	Отн. уско- рение	балльности относительно опорного пункта	<i>М_b</i> по миро- вому ка- талогу
	08.08.2017 23:27:55 (Северный Синьцзян, Китай)	Ν	max(+)	5032.9	2459.9	2.04		
1			min(-)	4371.2	3016.9	1.44	0.77	6.3
		Е	max(+)	4875.7	3137.2	1.55	1.05	
			min(-)	6364	2407.5	2.64	1.05	
		Z	max(+)	4037.3	2445.8	1.65	0.54	
			min(-)	4362.4	4073.1	1.07	0.54	
2	15.08.2017 22:49:43 (Таджикистан- Синьцзян граница)	N	max(+)	694.5	356.7	1.94	1.8/	
			min(-)	1383.7	251.9	5.49	1.04	4.6
		E	max(+)	1479.9	324	4.56	1.64	
			min(-)	1134.7	440.9	2.57	1.04	
		Z	max(+)	1017.7	298	3.41	1 49	
			min(-)	978.1	247.4	3.95	1.47	
	18.08.2017 19:53:12 (Афганистан- Таджикистан)	N E	max(+)	295.8	221.5	1.33	0.31	
			min(-)	208.2	221.8	0.93	0.01	4.7
3			max(+)	451.5	321.9	1.40	0.93	
5			min(-)	532.9	226.2	2.35	0.75	
		Z	max(+)	142	112.5	1.26	0.71	
			min(-)	176.1	91.4	1.92	0.71	
	25.08.2017 07:27:10 (Афганистан- Таджикистан)	Ν	max(+)	523.8	489.3	1.07	0.24	
4			min(-)	456.1	363.3	1.25	0.24	4.9
		Е	max(+)	406.1	874.6	0.46	0.17	
-			min(-)	573.5	486.6	1.17	0.17	
		Z	max(+)	475.7	301.5	1.57	0.49	
			min(-)	325.2	333.3	0.97	V.47	

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики акселерограмм землетрясений, полученных по данным двух однотипных акселерометров CMG-5TDE, установленных в грунте КМР и на гребне плотины АПЛ.

По результатам расчета выявлено, что интенсивность сейсмических колебаний на гребне железобетонной плотины меньше, чем на опорном грунте, на величину в среднем 0.74 балла по шкале MSK-64.

Из приведенных таблиц вытекает следующее:

- минимальное значение ускорения на сейсмостанции «Кампррават» 53.3 nm/s² (Z), на плотине 28.7 nm/s² (Z);

- максимальное значение ускорения сейсмостанции «Кампррават» 8669 nm/s² (Z), на плотине 4073.1 nm/s² (Z).

По спектрам записей, полученных с помощью новой системы инженерносейсмометрических наблюдений на плотине Андижанского водохранилища, выявлено, что в горизонтальных компонентах присутствуют моды (гармоники) на частотах от 4.0 до 4.7 Гц; для пункта регистрации № 14 наблюдается самая высокая частота собственных колебаний – 5.3 Гц. Наибольшие отношения амплитуд колебаний поперек/вдоль на гребне плотины прослеживаются на точках, начиная от 10-го до 16-го пунктов.

Они изменяется в пределах значений от 9.5 до 13.9, тогда как на точках начиная от 1-го до 9-го значения отношений амплитуд в пределах от 1.1 до 7.0. Наибольший коэффициент усиления колебаний – 20.1 показывает пункт № 9. Максимальные горизонтальные колебания фиксируются на средних высотных отметках тела плотины. Интенсивность сейсмических колебаний на гребне железобетонной плотины меньше на величину в среднем 0.7 балла по шкале MSK-64, чем на опорном грунте с/с Кампррават (KMP).

Сейсмометрические исследования показали, что конструкция обладает нелинейным поведением, это проявляется в различии частотного диапазона и коэффициента передачи элементов плотины.

Работа поддержана грантами № И-2017-5-17 и № ПЗ-2017091115 Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ибрагимов А. Х., Хамидов Х. Л. Инженерно-сейсмометрические наблюдения в плотине Чарвакского водохранилища // Современная техника и технологии в научных исследованиях. 5 Межд. молод. конф., 24-25 апреля 2013 г. Научная станция РАН Бишкек : НС РАН. 2013. С. 206-208.
- Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface // Quart. Rep.of RTRI, 1989. Vol.30. №1. P. 25-33.
- 3. Плотникова Л. М., Уломов В. И., Махмудова В. И. Влияние Чарвакского водохранилища на параметры сейсмического режима. // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. Ташкент : Фан, 1983. С. 31-43.
- 4. Ташлыкова Т. А., Рященко Т. Г. Возбужденная сейсмичность при создании водохранилищ: анализ первых фактов и возможных причин // Инженерная защита. 2015. № 6. С. 98-104.
- 5. Хамидов Л. А., Ибрагимов А. Х. Сейсмометрические оценки колебаний Чарвакской плотины // Проблемы снижения природных опасностей и рисков «ГЕОРИСК 2012». Восьмая международная научно-практическая конференция, 15-19 октября, 2012. Т.1. М.: Росс. унив. дружбы народов, 2012. С. 247-251.

- 6. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность / Хамидов Л. А. [и др.] // Доклады АН РУз. №2. 2018. Ташкент. С. 74-79.
- 7. Хамидов Х.Л. Микросейсмы и локальная сейсмичность зоны влияния Чарвакского водохранилища // Материалы XI Уральской молодежной научной школы по геофизике. Екатеринбург : УНЦ РАН, 2010. С. 82-87.

NEW BASIS OF ENGINEERING AND SEISMOMETRIC OBSERVATIONS ON THE DAM OF THE ANDIJAN WATER RESERVOIR

Ikhom M. Alimukhamedov Center for Advanced Technologies of the Ministry of Innovation Development, Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Tashkent, Uzbekistan ilhom75@mail.ru

Summary. The paper presents the primary results of the waveforms obtained on the basis of new seismic engineering observations at the dam of the Andijan water reservoir. It is revealed that the maximum horizontal vibrations are recorded at the average height of the dam's body. The intensity of seismic vibrations on the comb of the reinforced concrete dam is less than on the reference soil, located on the coastal slopes, by an average of 0.7 points of the MSK-64 scale. The results also showed that the design has certain non-linear behaviors during the seismic loads from transit earthquakes.

Key words: earthquake, dam, base, waves, spectrum, acceleration, height, displacement, speed.

УДК 552.52 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ГЛИНИСТОГО ЦЕМЕНТА НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАСТОВ КОЛЛЕКТОРОВ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Анохин Артем Васильевич Тюменский Индустриальный Университет, г. Тюмень art_27@mail.ru

Аннотация. Из литературы известно, что тип и распределение цемента оказывает существенное воздействие на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород-коллекторов. Для увеличения достоверности расчета ФЕС необходимо учитывать состав глинистого цемента, а также его количество. В данной работе рассмотрено влияние состава глинистого цемента на фильтрационные параметры пластов коллекторов на примере юрских отложений.

Ключевые слова: цемент, каолинит, хлорит, гидрослюда, пористость, проницаемость.

Горные породы – это гетерогенные системы, состоящие из матрикса и цемента. Цемент породы – основная масса, скрепляющая обломочные зерна, обломки пород или органические остатки (раковины, их обломки, иголочки, остатки водорослей и т. д.).

Чаще всего встречается глинистый цемент [1], также очень широко распространен карбонатный цемент: в роли цемента обычно выступают кальцит, сидерит и некоторые другие минералы. Кроме того, цемент может быть кремнистым, железистым, фосфатным и др. Типы цементов различаются по характеру сцепления зерен или обломков: базальный, пленочный, поровый, порово-базальный, контактовый, коррозионный, сгустковый (пятнистый). В горных породах, как правило, встречаются смешанные и переходные между перечисленными выше типы цемента (базально-поровые, порово-пленочные и т.д.).

Изучение цементов пород, главным образом, песчано-алевритовых, имеет большое значение, поскольку цементы непосредственно влияют на фильтрационноемкостные свойства пород-коллекторов.

Состав глинистого цемента обычно представлен монтмориллонитом, каолинитом, хлоритом, гидрослюдой и смешанно-слойными образованиями (ССО).

Каждый эффект, вызванный наличием глинистого материала в пористой породе, зависит от распределения глины в породе. Тип распределения глины оказывает влияние, или регулирует: пористость, проницаемость, водонасыщенность, дренаж и пропитку, величину капиллярного давления, показания каротажных зондов.

Хлорит нарастает в виде облицовки (грунтовки) на стенках пор и поровых каналов (рисунок 1 а). Пористость может быть сокращена на незначительную величину, в то время как проницаемость снизится весьма существенно, поскольку поровые каналы будут заблокированы для продвижения нефти.

Каолинит кристаллизуется в форме напластований в поровом пространстве и поровых каналов. Между «листиками» этих пластов остается микропористость (рисунок 1б).

Гидрослюды вырастают в форме волосков, которые покрывают как стенки пор, так и стенки поровых каналов (рисунок 1 в). Между очень тонкими наростами, соединяющими стенки пор и поровых каналов наподобие мостиков, может оставаться большое количество микропор, но это поровое пространство фактически недоступно для нефти при реалистическом капиллярном давлении. Проницаемость очень низкая.



Рис. 1. Структура глинистых минералов при фотографиях на растровом электронном микроскопе: а) хлорит, б) каолинит, в) гидрослюда

Изучаемый пласт ЮВ1 стратиграфически приурочен к верхам васюганской свиты. В составе горизонта выделяются продуктивные пласты ЮВ11 и ЮВ12, представленные неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов, с прослоями и линзами карбонатных пород. Поскольку по текстурноструктурным и минералогическим особенностям коллекторы данных пластов достаточно близки, ниже приводится их общая характеристика.

Коллекторами являются мелкозернистые песчаники, реже – среднезернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты, серые, буровато-серые, однородные, или слоистые вследствие смены зернистости осадка, а также концентрации УРД и глинисто-слюдистого материала по плоскостям наслоения. Слоистость косоволнистая, линзовидная, мелкая косая, горизонтальная, фрагментами нарушена в результате микроразмывов, взмучивания осадка, биотурбации. Характерно повышенное содержание пирита, нередко образующего крупные стяжения, а также карбонатных линз прослоев.

Структура пород псаммитовая, алевро-псаммитовая, алевритовая в подошве, форма зерен от полуугловатой до полуокатанной. В шлифах отмечаются горизонтально и линзовидно-слоистые микротекстуры, обусловленные наличием линзочек и прослоек глинисто-углистого материала, ориентировкой гидрослюд, удлиненных обломочных зерен.



Рис. 2. Влияние содержания в породе: а) хлорита, б) каолинита, в) гидрослюды на проницаемость коллекторов

По вещественному составу исследуемые коллекторы относятся к полимиктовому типу (граувакковые аркозы). Основными породообразующими компонентами являются кварц (41.7 %) и полевые шпаты (28.8 %) при стабильном преобладании кварца. Локально песчаники обогащены обломками интрузивных, эффузивных и осадочных пород в различных соотношениях (24 %) и слюдами (4 %).

Основная масса глинистого цемента коллекторов имеет аутигенное происхождение, представлена преимущественно каолинитом (69.9%) с примесью хлорита (5.7%), гидрослюды (16.9%), и ССО (7.5%) и характеризуется неоднородным пленочно-порово-базальным распределением.



Рис. 3. Влияние содержания в породе каолинита на проницаемость коллекторов с учетом водородосодержания породы

Результаты гранулометрического состава показали, что в коллекторах горизонта ЮВ1 преобладают частицы песчаной фракции и в среднем составляют 65.3 %, алевритовая фракция составляет 25.5 % всех изученных образцов. Весовая глинистость рассматриваемых пород (фракция < 0.01мм) достигает 8.8 %.

В представленной работе выполнен анализ влияния минерального состава глинистого цемента на фильтрационно-емкостные свойства пород пласта ЮВ1. На рисунке 2 (а, б, в) показаны зависимости проницаемости от содержания в породе основных глинистых минералов: каолинита, гидрослюды и хлорита, полученных по результатам рентгеноструктурного анализа.

На представленных графиках наблюдается обратная зависимость проницаемости от содержания хлорита и гидрослюды и прямая – от содержания каолинита. Тренд влияния содержания каолинита, хлорита и гидросллюды на пористость коллекторов аналогичен. Исходя из того, что погрешность уравнений двухмерных связей довольно высока, был осуществлен переход к трехмерным сопоставлениям [2]. В качестве третьего параметра принято водородосодержание горной породы (Wck).

В соответствии с полученным распределением, следует ожидать улучшения расчета фильтрационно-емкостных свойств коллекторов при комплексировании нейтронного каротажа с методом СП или ГК – альтернативными методами для определения пористости, опосредованно связанными с глинистостью.

Проводя анализ полученных результатов можно сделать выводы:

- увеличение содержания каолинита в породе повышают емкостные и фильтрационные свойства коллекторов;

- увеличение содержания хлорита и гидрослюды понижают фильтрационноемкостные свойства коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика: учеб. для вузов. М. : Недра, 1991. 368 с.
- 2. Латышова М. Г., Мартынов В. Г., Соколова Т. Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: учебное пособие для вузов. М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 327 с.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CLAYEY CEMENT COMPOUND ON THE FILTRATION PARAMETERS OF JURASSIC RESERVOIR FORMATIONS

Artem V. Anokhin Industrial University of Tyumen, Tyumen art_27@mail.ru

Summary. It is known from the literature that the type and distribution of cement has a significant impact on reservoir properties of reservoir rocks. In order to increase the reliability of the estimation of filtration-capacitive properties, it is necessary to take into consideration the compound of clayey cement as well as its quantity. The influence of the clayey compound on the filtration parameters of reservoir formations is considered in this paper on example of Jurassic sediments.

Key words: cement, kaolinite, chlorite, hydromica, porosity, permeability.

УДК 551.3:550.3 РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БЛИЖНИХ ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА

Артиков Фарход Рустамович Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова, г. Ташкент, Узбекистан farhadbek uz@mail.ru

Аннотация. В работе показано распределение очагов землетрясений в ближних зонах водохранилищ Узбекистана и их возможная связь с изменением объема воды во время эксплуатации. Изменение количества землетрясений разных энергетических классов при разных давлениях для семи водохранилищ по их ближним зонам представлены в интервалах радиусов $R \le 25$, $25 \le R \le 50$ и $50 \le R \le 100$ от створов водохранилищ. Изложены результаты расчетов амплитуд возможных прогибаний некоторых водохранилищ и их возможная связь с количеством и плотностью распределения очагов в ближних зонах.

Ключевые слова: распределение очагов, прогибание, водохранилище, деформация, смещение, магнитуда, энергетический класс.

Основной целью работы является выделение распределения землетрясений в ближних зонах водохранилищ при разных эксплуатационных условиях. В сейсмоактивных зонах тектонические силы, возникающие на стыке блоков земной коры, формируют область повышенных тектонических напряжений, где процессы раскрытия трещин могут приводить к разрушению среды [2]. Дополнительные напряжения, возникающие за счет эксплуатации крупных водохранилищ, являются опасными в сейсмоактивных зонах. Дезинтеграционные изменения в горных породах в ближних зонах водохранилищ связаны с нелинейным разуплотнением среды за счет трещин сдвига, образуюущихся при достижении касательных напряжений некоторого порога [5]. Интенсивные изменения объема воды в водохранилище при эксплуатации могут привести к изменению полей регулярных напряжений и деформаций горных пород. Они также могут существенно влиять на изменения фонового состояния различных геофизических, геодезических, гидродинамических и сейсмических полей.

В работах [2, 6, 7] обоснована очевидность того, что в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ области локальной тектонической сейсмичности состоят из набора вариации напряженно-деформированного состояния отдельных блоков, примыкающих к чаше водохранилищ. Их взаимные перемещения будут так же значительными, как и их собственные деформации.

Как показали исследования в ближних зонах Чарвакского, Туплангского, Чимкурганского и др. водохранилищ, массивы отличаются особенностями залегания и степенью нарушенности (трещиноватостью и блочностью) слагающих горных пород [1, 6]. Также они отличаются минералогическим составом, текстурой и пористостью горных пород, наличием включений, их связью с твердыми составляющими, а также показателями геомеханического (действующие силы, напряжения и деформации гравитационного, тектонического и техногенного происхождения) и физического (эрозионные процессы и др.) состояния [1, 4].

Для исследования локальной геодинамики зон активного влияния водохранилищ необходимо определить плотности распределения очагов землетрясений в ближней зоне водохранилищ. Они важны для решения задач оценки микросейсмической опасности, прогноза образования микросейсмических нагрузок [5]. В последние годы в Узбе-

кистане существенно увеличилось количество определений локальных очагов землетрясений в зонах возможного деформационного влияния водохранилищ. Повысилась точность их определения в связи с вводом в действие новых цифровых сейсмических станций и переходом на компьютерную обработку данных [3].

Таблица 1

Изменения параметров давления, расчет прогибания и деформаций зон водохранилищ Узбекистана

№	Водохранилища	h	ΔP_i	∆ħ _i	∆ti	n	A_i			
							ΔA_{li}	ΔA_{2i}	ε _{ij} ×10∙°	$H_{_{3K}}$
1	Каркидон	70	3,2	10,2	2	4	7,6	6,00	6,84	10
2	Пачкамар	72	3,6	11,6	1	2	8,2	7,40	7,87	10
3	Заамин	74	2,1	9,8	1	3	10,3	8,20	9,37	10
4	Гиссарак	120	4,5	14,2	3	3	8,1	7,80	9,95	8
5	Андижан	121	2,4	11,5	3	4	11,4	9,20	10,3	10
6	Чарвак	168	5,7	16,8	2	5	15,8	18,3	17,06	10
7	Тупаланг	180	5,6	15,4	4	6	14,3	12,7	16,9	8

Проведя тестовые расчеты, мы выбрали параметры из табл. 1 и из составленного нами местного каталога землетрясений построили схемы плотности распределения местных очагов землетрясений в 2018 г. по Андижанскому, Гиссаракскому и Тупалангскому водохранилищам. Ниже на рис. 1 и 2 показан пример плотности распределения землетрясений 2018 г. в радиусе R≤25, R≤50 и R≤100 км по каждому водохранилищу.



Рис. 1. Распределения эпицентров землетрясений в 2018 году в пределах радиусов 25, 50 и 100 км, ограничивающих зоны возможного влияния Андижанского водохранилища

Составлена численная схема расчета возможного прогибания основания водохранилищ Узбекистана при интенсивном изменении его объема [1, 6]. В табл. 1 показана часть результатов расчета амплитуд возможных прогибаний некоторых водохранилищ Узбекистана.

Если учесть, что очаговая деформация Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. с магнитудой M=5.2 по данным В.И. Уломова $\varepsilon_{mauk} \approx 1.9 \times 10^{-4}$ [8], то деформации, рассчитанные по прогибанию водохранилища во время эксплуатации, по порядку достаточно близки к этим очаговым. Параметры, относящиеся к разрывам, определены и рассчитаны по средним плотностям на площадь 100 000 км² от каждого из семи водохранилищ. Средние коэффициенты трения покоя (Кулона) определены согласно углу наклона этих разрывов ($tg\alpha$). Расчетные напоры определены согласно изменениям уровня воды в водохранилище в течение периода эксплуатации. В табл.1 h(m) – высота дамбы, ΔP_i ($M\Pi a$) – вариация давления в основании водохранилища; Δh_i (m) – интервал изменения высот полезного объема во время эксплуатации; Δt_i (шт.) – наблюденное среднее количество вариаций давления в год; среднее количество землетрясений n (шт.) с энергетическим классом $K \ge 7$ до следующей вариации объема, где K=LgE (E – энергия землетрясения) в радиусе до 50 км от створа; A_i – амплитуда смещения (мм), соответственно ΔA_{1i} по [5] и ΔA_{2i} по [1, 4]; $\varepsilon_{ij} = A_i / H_{3\kappa}$ – деформация по [4, 6, 8]; $H_{3\kappa}$ – глубина до сейсмогенного слоя земной коры ($\approx 10^6$ мм).



Рисунок 2. Распределение эпицентров землетрясений в 2018 году в пределах радиусов 25, 50 и 100 км, ограничивающих зоны возможного влияния Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ

На рис. 3 показано изменение количества землетрясений разных энергетических классов при разных давлениях семи водохранилищ по их ближним зонам в интервалах радиусов $R \le 25$, $25 \le R \le 50$ и $50 \le R \le 100$ км от створов водохранилищ.



Рис. 3. Изменение количества землетрясений N и n_i разных энергетических классов K при разных давлениях ΔP_i в семи водохранилищах Узбекистана, находящихся в 8-9 балльных зонах землетрясений

Радиус для выборки землетрясений начинается с 25 км, так как самая большая длина водохранилища составляет 25 км. Максимальный радиус выбран согласно ШНК 2.06.11-04 Декларации безопасности гидротехнических сооружений Узбекистана, составленной МСиВХ РУз на основе ҚМҚ 2.01.03-95 «Строительство в сейсмических районах Узбекистана». Зона активного влияния водохранилищ с объемом более 100 млн.м³ назначена от 100 до 250 км (в зависимости от объема). Тестовые расчеты для зоны Гиссаракского водохранилища вариации уровня воды Δh_i , количество землетрясений n_i и смещений основания за январь-август 2018 г. показали их достаточно близкую корреляцию (рис. 4).



Рисунок 4. Тестовые расчеты для зоны Гиссаракского водохранилища вариаций высоты уровня воды Δh_i , количества землетрясений n_i и смещений основания, рассчитанных за январь-август 2018 года

Расчеты показали, что рост количества землетрясений с 2.1≤М≤3.8 в радиусах 25≤R≤100 км сопоставим с резкой вариацией уровня воды в водохранилище.

Работа поддержана грантами № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115 Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Показатели локальной геодинамической активности земной коры зон водохранилищ / Алимухамедов И. М. [и др.] // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент. 2014. №3. С.37-42.
- 2. Боброва М. Е., Пережогин А. С. Моделирование поля деформаций и зон дилатанции в упругом полупространстве с комбинацией двойных сил // Вестник КРАУНЦ. физ.-мат. науки. 2011. № 1 (2). С. 31-36.
- Ибрагимов А. Х., Хамидов Х. Л. Оценка колебания плотин Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ Южного Узбекистана // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата. Десятая международная научно-практическая конференция по проблемам снижения природных опасностей и рисков «ГЕОРИСК – 2018», 23-24 октября 2018 года. Москва, 2018. С.52-57.
- 4. Идармачев И. Ш. Вариации кажущегося сопротивления горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки

водохранилища // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 52. С. 11-16.

- 5. Хамидов Л. А., Артиков Ф. Р., Хамидов Х. Л. Возможный механизм возникновения землетрясений в зонах активного влияния водохранилищ // Вестник Узбекистана Экология. 2017. № 1 (189). С. 20-21.
- 6. Хамидов Л. А., Зиявитдинов К. Ф., Шукуров М. Ш. Жесткостные характеристики массивов горных пород в ближней зоне водохранилищ // Журнал Геология и минеральные ресурсы. 2010. №4. С.34-39.
- 7. Геодинамические оценки параметров GPS съемок и смещений для сейсмических событий в Западном Тянь-Шане / Хамидов Х. Л. [и др.] // Вестник НУ РУз. Ташкент, 2014. №3-4. С.26-32.
- 8. Уломов В. И. Динамика земной коры и прогноз землетрясений. Ташкент : Фан, 1974. 276 с.

DISTRIBUTION OF EARTHQUAKE FOCI IN THE NEAR ZONES OF THE RESERVOIRS OF UZBEKISTAN

Farhod R. Artikov Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Tashkent, Uzbekistan farhadbek_uz@mail.ru

Summary. The paper outlines the distribution of earthquake foci in the near zones of the reservoirs of Uzbekistan and their possible connection with changes in the volume of water during operation. The change in the number of earthquakes of different energy classes at different pressures for the seven reservoirs in their near zones is represented in intervals of radii R \leq 25, 25 \leq R \leq 50 and 50 \leq R \leq 100 from the sections of reservoirs. The results of calculations of the amplitudes of possible bending of some reservoirs and their possible connection with the number and density of distribution of foci in the near zones are presented.

Key words: distribution of foci, bending, reservoir, deformation, displacement, magnitude, energy class.

УДК 550.832.542 ДОРАЗВЕДКА ОТЛОЖЕНИЙ МЯЧКОВСКОГО И ПОДОЛЬСКОГО ГОРИЗОНТОВ ПО ДАННЫМ ННК

¹Белоглазова Анастасия Алексеевна, ²Сорвачева Екатерина Юрьевна Самарский государственный технический университет, г. Самара ¹beloglazova-anastasija@rambler.ru ²katerina199624@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен способ расширения возможностей интерпретации импульсного нейтронного каротажа ННК в целях доразведки залежей углеродов. Методика выделения перспективных объектов строится на повышении времени жизни тепловых нейтронов τ_n относительно НГК, снижении декремента затухания λ_n относительно нейтронной пористости и функционала. Ключевые слова: каротаж, породы, декремент затухания, время жизни тепловых нейтронов, функционал.

Сущность импульсного режима заключается в облучении пластов, вскрываемых скважиной, импульсами нейтронов, следующими друг за другом через определенный промежуток времени [1].

Для доразведки и изучения отложений Мячковского и Подольского горизонтов Неприковской площади в нескольких скважинах были проведены комплексные геофизические исследования, включающие стандартный комплекс геофизических исследований скважин, нейтронный гамма-каротаж, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж и акустический каротаж.

Перспективные пласты выделялись по приращению логарифма показаний бокового каротажа над показаниями нейтронного гамма-каротажа, по превышению lgt над нейтронным гамма-каротажем, по снижению λ относительно функционала φ , снижению λ относительно ΔT [2].

В скважине 418 комплекс «геофизические исследования скважин-импульсный нейтрон-нейтронный каротаж-акустический каротаж» позволил выделить загипсованные и доломитизированные интервалы (рис. 1).



Рис. 1. Пример изучения разрезов скважин по комплексу ГИС открытого ствола и ИННК-КВ

1) Известняки плотные, непроницаемые (1397-1399 м, 1401-1404 м, 1432.5-1435 м), характеризуются высокими показаниями нейтронного гамма-каротажа, бокового каротажа, *t*; отсутствием приращения боковой каротаж-нейтронный гамма-каротаж, *t*-нейтронный гамма-каротаж.

2) Известняки водонасыщенные (1440.5-1442.5 м, 1445-1447 м) характеризуются пониженными показаниями нейтронного гамма-каротажа, бокового каротажа, *t*; отсутствием приращения боковой каротаж-нейтронный гамма-каротаж, *t*-нейтронный гамма-каротаж. 3) Известняки нефтенасыщенные (1412-1416 м, 1422-1426 м) при пониженных значениях нейтронного гамма-каротажа отмечаются высокими показаниями бокового каротажа, t. Отмечается превышение бокового каротажа над нейтронным гамма-каротажем, бокового каротажа, t над нейтронным гамма-каротажем, снижение λ отно-сительно φ .

4) Известняки загипсованные (1444-1445 м, 1452-1454 м) при пониженных значениях нейтронного гамма-каротажа характеризуются повышенными значениями бокового каротажа как нефтенасыщенные. По нормализации бокового каротажа и нейтронного гамма-каротажа отмечается превышение бокового каротажа над нейтронным гамма-каротажем. Пониженные показания *t* выводят загипсованные породы из перспективных.

5) Известняки доломитизированные (1448.5-1450 м) характеризуются незначительным превышением бокового каротажа над нейтронным гамма-каротажем. Превышение t над нейтронным гамма-каротажем, снижение λ относительно функционала φ характеризуют пропласток как ложно нефтенасыщенный. При комплексировании λ и ΔT признаки нивелируются. Доломитизированные породы отмечаются повышенными показаниями t, в чистых доломитах значение t достигает 960 мкс, значения λ соответственно снижены. Интервальное время в доломитизированных породах также снижено, в чистых доломитах соответствует 142 мкс/м, в известняках доломитизированных – 142-150 мкс/м [3].

Для комплексирования можно предложить графический способ по снятым показаниям по комплексу геофизических исследований скважин. Графический способ комплексирования λ и ϕ , с одной стороны, и λ и ΔT_n , с другой стороны.



На первом графике (рис.2а) перспективные объекты совмещаются по плотным и явно водонасыщенным породам. Плотным породам соответствуют значения низких λ и низких φ . Явно водонасыщенным – высокие λ и высокие φ . Перспективные объекты вычисляются снижением λ . Второй график (рис. 2б) связывает λ и Δ T. Линия связывает плотные и явно водонасыщенные породы. Плотные породы соответствуют низким значениям λ и низким значениям Δ T. Явно водонасыщенные – повышенным значениям λ и повышенным. Перспективные объекты оттеняются снижением λ . Количество перспективных точек уменьшилось.

Предлагается комплексирование индукционного нейтронного каротажа с акустическим каротажем. Доломитизация действует на показания в «одну сторону», в сторону снижения. В случае отсутствия акустического каротажа ошибки неизбежны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Вендельштейн Б. Ю., Резванов Р. А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов. М. : Недра, 1978.
- 2. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: Справочник / Под ред. В. М. Добрынина. М. : Недра, 1988.
- 3. Латышова М. Г., Мартынов В. Г., Соколова Т. Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС. М. : Недра, 2007.

SUPPLEMENTARY EXPLORATION OF THE MYAKOVSKO-PODOLSKY HORIZONS ACCORDING TO THE NNK

¹Anastasija A. Beloglazova, ²Ekaterina Y. Sorvacheva Samara state technical University, Samara ¹beloglazova-anastasija@rambler.ru ²katerina199624@mail.ru

Summary. The approach of expanding possibilities of interpretation by pulse neutron logging NNC for additional exploration carbon deposits is considered in the article. The selection technique of perspective objects is concerned with increasing construction in a lifetime of thermal neutrons concerning NGC decreasing in a logarithmic decrement of rather neutron porosity and it's functional.

Key words: logging, rocks, damping factor, thermal neutron lifetime, functional.

УДК 550.343 ПРИМЕНЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МАГНИТУДЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ К ЛОГАРИФМУ РАССТОЯНИЯ ДО ЭПИЦЕНТРА ПРИ ВЫБОРЕ СЕТИ РАДОНОВОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА

Бирюлин Сергей Викторович ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург serrega2009@gmail.com

Аннотация. Существующие геофизические методы изучения изменений геодинамического состояния земной коры, в ряде случаев позволяющих прогнозировать сейсмические события, обладают различной пространственной чувствительностью. Экспериментально для различных регионов показано, что изменения объемной активности почвенного радона и температуры по скважинам проявляются, если отношение магнитуды сейсмического события к логарифму расстояния до эпицентра больше 2.5. Эта величина находится в хорошем соответствии с теоретическими распроявления гидрогеологических эффектов, полученными четами И.П. Добровольским. Использование отношения магнитуды к логарифму расстояния дает возможность для выбора оптимальной сети наблюдательных пунктов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое событие, эпицентр, магнитуда, мониторинг, объемная активность радона.

При использовании различных методов изучения изменений геодинамического состояния земной коры в ряде случаев, позволяющих прогнозировать сейсмические события, возникает вопрос их дальнодействия или пространственной чувствительности. Для методов, прямо или косвенно связанных с изменением напряженного состояния горных пород, выполнен ряд теоретических работ по оценке зоны влияния или передачи напряжений.

В наиболее известной и часто цитируемой работе И.П. Добровольского [2] выполнены подобные оценки передачи напряжений в однородном полупространстве. Получена теоретическая зависимость для радиуса влияния очага возникшего напряжения при подготовке тектонического землетрясения в зависимости от отношения магнитуды к логарифму расстояния до эпицентра. Выводы, вытекающие из решения, полученного И.П. Добровольским, достаточно хорошо выполняются при измерениях уровня воды в скважинах. Нашей задачей было проверить их применимость при измерениях температуры и объемной активности радона (OAP) в различных в геологическом и сейсмическом отношениях регионах.

Как уже было сказано, область изменения напряженно-деформируемого состояния горных пород, захватываемая процессом подготовки землетрясения, будет, в первую очередь, зависеть от величины соотношения магнитуды и расстояния до очага. Получение количественных величин такой зависимости позволит прогнозировать расстояние до очага при заданной магнитуде или магнитуду события при заданном расстоянии. Считая, что серьезную опасность представляют землетрясения с магнитудой от 5.0, обычно вызывающие разрушения от 6 баллов и более по шкале МСК-64, можно рассчитать пространственные размеры наблюдательной сети, привязываясь к конкретному объекту, для которого важен прогноз возможного события.

На рисунке 1 приведены экспериментальные зависимости, полученные различными авторами, величин соотношения магнитуды к расстоянию, при которой проявляются изменения в величинах измеряемых гидрогеологических эффектов [1]. На этот график нанесены сейсмические события, произошедшие за период с 2006 по 2010 годы на территории с радиусом 1500 км. Темными кружками отмечены события, появившиеся в гидрогеологических эффектах. Для этих же событий проявились характерные радоновые изменения, кроме землетрясения Тохоку. Видно, что проявление температурных и радоновых эффектов соответствуют экспериментальному соотношению, полученному Кингом по результатам наблюдений за изменением уровня воды в скважинах, в центральной Японии. То есть, если величина отношения магнитуды к логарифму расстояния больше 2.5, то данное событие с высокой степенью вероятности отразится в кривых изменения температуры и объемной активности радона и для района Южных Курил. Величина 2.5 практически совпадает с теоретической оценкой проявления гидрогеологических эффектов, полученной И.П. Добровольским. Пороговая величина отношения магнитуды к логарифму расстояния, равная 2.5, получена для геологических и геодинамических условий зоны субдукции, где схема взаимодействия тектонических плит идентична как для Японии, так и для Южных Курил. Для зоны субдукции характерно наличие на краю континентальной плиты деформаций изгиба с соответствующими возникновениями зон растяжения и сжатия.



Рис. 1. Отклик сейсмических событий в температурных и радоновых полях по данным различных авторов

В качестве примера отражения тектонических событий в поле ОАР на рис. 2 приведены изменения объемной активности радона на станции Южно-Курильск в ноябре 2006 года. Отношение магнитуды событий к логарифму расстояний для событий 15.11 и 24.11 равно соответственно 2.9 и 2.6, что превышает критерий 2.5. Правомерность применения критерия 2.5 для других регионов мы рассмотрим на примерах Северного Тянь-Шаня, Северного Кавказа и Урала. В этих районах в разное время проводились мониторинговые наблюдения за температурой и объемной активностью радона.



Рис. 2. Отражение процесса подготовки землетрясений в ОАР на радоновой станции Южно-Курильск

В 2002-2004 гг. на Северном Тянь-Шане в течение 2.5 лет проводился радоновый мониторинг на 8 станциях, расположенных от Бишкека до Каракола. К сожалению, количество сейсмических событий за период наблюдений было незначительным и не все происходили в зоне чувствительности (по критерию 2.5) радоновых станций.

На рис. 3 приведен фрагмент записи объемной активности радона и торона на станции Ала-Арча перед событием 04.12.2002 г. [3]. Геодинамическая схема движения блоков земной коры для Северного Тянь-Шаня также предполагает надвиг современного орогена на Казахстанскую плиту. Полученный характер изменения ОАР похож на отражение процесса подготовки сейсмических событий при деформациях изгиба в условиях надвига или поддвига, который характерен для островных дуг и для Японии. Величина отношения магнитуды к логарифму расстояний до очага для события 04.12.2002 г. равна 2.4, что практически укладывается в критерий 2.5.



Рис. 3. Фрагмент записи объемной активности радона (OAP) и торона (OAT) на станции Ала-Арча с 27 ноября по 12 декабря 2002 года

Можно предположить, что на Северном Кавказе также существуют условия горизонтального перемещения блоков земной коры и возникают деформации изгиба. С точки зрения применимости критерия 2.5 проанализируем полученные ряды ОАР. На рис. 4 приведены фрагменты записи ОАР из почти 11-месячного периода наблюдений на установленной в конце 2017 г. в г. Владикавказе радоновой станции. Это периоды с 19.12.2017 г. по 09.01.2018 г.; и с 05.05.2018 г. по 09.06.2018 года. На полученной кривой изменения ОАР (рис.4) отчетливо выделяется процесс подготовки события 05.06.2018 г. в Азербайджане с магнитудой 5.3 и на расстоянии около 180 км от Владикавказа. Рассчитанное отношение магнитуды к логарифму расстояния равно 2.4, что позволяет говорить о применимости критерия 2.5 и для территории Северного Кавказа.



Рис. 4. Изменение объемной активности почвенного радона на радоновой станции г. Владикавказ за период с 05.05.2018 г. по 09.06.2018 г.

В 2015 г., совершенно неожиданно, на Среднем Урале, в районе населенного пункта Сабик, произошло землетрясение с магнитудой около 4.5. На радоновой станции, установленной в обсерватории Коуровка, удалось получить данные по изменению ОАР. Несмотря на то, что отношение магнитуды к логарифму расстояния было 2.4, в изменениях ОАР подготовка этого события не отразилась [4].

После этого события, через 3 года, 04.09.2018 г. в Усть-Катавском районе Челябинской области произошло самое сильное землетрясение за период наблюдений на Урале с магнитудой 5.4. На радоновых станциях в Екатеринбурге и Коуровке на кривых ОАР это событие не отразилось (отношение магнитуды к логарифму расстояния равно 2.2). Для этого события характерна интенсивная афтершоковая активность. Начиная с 29 ноября проводится непрерывный мониторинг объемной активности радона на станции, установленной в городе Катав-Ивановск. Последовавшие за период с 29.11.2018 г. по 18.01.2019 г. сейсмические события магнитудой 1.6-1.9 в кривых изменения ОАР не отразились. Отношение магнитуды к логарифму расстояния для всех этих событий был меньше 2.5. Радоновая станция находится слишком далеко от эпицентров землетрясений.

Заключение

По экспериментальным результатам, полученным по отражению изменения геодинамического состояния геологической среды при подготовке тектонических землетрясений для различных районов, где проявляются деформации изгиба, изменения в объемной активности почвенного радона и температуре в скважинах происходят при отношении магнитуды сейсмического события к логарифму расстояния до эпицентра больше 2.5.

Используя эту зависимость, можно планировать расположение радоновых и температурных станций при организации мониторинга контроля опасных изменений геодинамического состояния геологической среды вблизи крупных городов и объектов повышенной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Температурные изменения в скважине kun-1 (о. Кунашир), вызванные землетрясением Тохоку (11.03.2011г., М=9.0) / Демежко Д. Ю. [и др.] // Доклады академии наук. 2012. №2. С. 200-204.
- 2. Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М. : ОИФЗ АН СССР, 1991. 217с.
- 3. Мониторинг радона при изучении процесса подготовки землетрясения на Северном Тянь-Шане / Уткин В. И. [и др.]. Физика Земли. 2006. №9. С. 61-70.
- Юрков А. К., Козлова И. А., Бирюлин С. В. Сейсмическое событие 19.10.2015 года на Среднем Урале в поле объемной активности радона // Материалы конференции «Девятые научные чтения памяти Ю.П.Булашевича. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2017. С. 480-483.

APPLICATION OF THE RATIO OF THE SEISMIC EVENT MAGNITUDE TO THE LOGARITHM OF THE DISTANCE TO THE EPICENTER WHEN CHOOSING A RADON AND TEMPERATURE MONITORING NETWORK

Sergey V. Biryulin GI UB RAS, Ekaterinburg serrega2009.@gmail.com

Summary. Existing geophysical methods for studying changes in the geodynamic state of the earth's crust, in some cases allowing to predict seismic events, have different spatial sensitivity. Experimentally for different regions it is shown that changes in the volume activity of soil radon and temperature in wells occur if the ratio of the magnitude of the seismic event to the logarithm of the distance to the epicenter is greater than 2.5. This value is in good agreement with theoretical calculations of hydrogeological effects obtained by I. Dobrovolsky. The use of the ratio of magnitude to the logarithm of the distance makes it possible to select the optimal network of observation points.

Key words: earthquake, seismic event, epicenter, magnitude, monitoring, radon volume activity.

УДК 550.834 РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНО-НЕПРОДОЛЬНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ

¹Бобров Валерий Юрьевич, ^{1,2}Бабкин Андрей Иванович ¹«ГИ УрО РАН», ²Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь ¹bvy1692@gmail.com, ²aib@mi-perm.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены результаты совместного применения продольных и непродольных систем наблюдений с целью определения особенностей распределения структурно-физических параметров на участке шахтного поля соляного рудника.

Ключевые слова: малоглубинная сейсморазведка, непродольное профилирование, соляная толща, механизированный молот AWD-33.

Проведение сейсморазведочных работ в процессе строительства и эксплуатации инженерно-технических сооружений на соляном руднике позволяет избежать отложенных рисков их последующей эксплуатации вследствие недооценки особенностей геологического строения.

Профильная продольная сейсморазведка вполне справляется с поставленными задачами [2, 3]. Однако в пределах промышленной инфраструктуры возможности продольных систем весьма ограничены. Применение продольных систем наблюдений в сочетании с непродольными системами, реализованными путем выноса пунктов возбуждения, позволит проводить исследования в труднодоступных местах, тем самым расширяя круг решаемых задач.

В качестве возможности совместного применения данных систем наблюдений для оценки сейсмогеологических условий, рассмотрим их реализацию на примере контроля за участком под строительство нового ствола на соляном руднике в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС).

Для решения поставленной задачи проведены малоглубинные сейсморазведочные исследования по технологии МОВ МОГТ по сети из 4 продольных и 2 непродольных профилей (рис.1). Расстояние между пунктами приема (ПП) и пунктами возбуждения (ПВ) составило 4 метра. Система наблюдения 48-64 канальная переменная ассиметричная.

На двух профильных линиях №22 и №23 применялась непродольная система наблюдений, с вынесенными линиями ПП и ПВ. Для профиля №22 ПП размещались на профиле №21, а ПВ – на профиле №20. Для профиля №23 ПП размещались на профиле №19, а ПВ – на профиле №18. Подобный методический прием позволяет регистрировать отраженные волны непосредственно на участке проходки, т.е. на половине расстояния между линией приема и линией возбуждения. На остальных профилях линии приема и возбуждения совпадали и, следовательно, регистрировались отраженные волны, образованные непосредственно в плоскости профиля.



Рис. 1. Обзорная схема работ

Возбуждение упругих колебаний производилось с помощью механизированного молота типа AWD-33. Данный источник отличается мобильностью и простотой эксплуатации [1] и обеспечивает необходимый частотный диапазон ($f > 100 \Gamma \mu$) с интенсивностью, достаточной для регистрации отраженных волн в интервале исследуемых глубин для продольных и непродольных типов систем наблюдений (рис. 2).



Рис. 2. Амплитудная характеристика сейсмограмм по продольному (№18) и непродольному (№23) профилям

На временных разрезах (рис. 3), полученных в рамках малоглубинных исследований по продольным и непродольным профилям, выделяется ряд динамически выраженных осей синфазности, относящиеся к сейсмическим отражающим горизонтам (ОГ), приуроченных к терригенно-карбонатной толще пород (ТКТ), соляно-мергельной толще (СМТ), переходной пачки пород (ПП), покровной каменной соли (ПКС), карналлитовому пласту (Ек) и сильвинитовой толще (Сил.).



Рис. 3. Временные разрезы по продольному профилю №18 и непродольному профилю №23

По результатам обработки и интерпретации сейсморазведочных данных, в частности, по нарушениям структуры волновой картины, снижению интенсивности и значениям скоростной характеристики, на профильных линиях выявлен ряд участков с осложнениями волнового поля (рис. 4).



Рис. 4. Схема результатов качественной интерпретации сейсморазведочных данных

Таким образом, совместное применение продольных и непродольных систем наблюдений обеспечивает достоверную информацию об особенностях распределения структурно-физических параметров геологического разреза в пределах исследуемой территории. Результаты сейсморазведочных исследований могут закладываться в основу принятия производственных решений при дальнейшем строительстве ствола на соляном руднике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бобров В. Ю. Сравнительный анализ источников упругих колебаний для инженерных сейсморазведочных работ // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник науч. материалов. Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2018. С. 27-29.
- 2. О перспективах малоглубинной сейсморазведки 3D на Верхнекамском месторождении солей / Санфиров И. А. [и др.] // Геофизика. 2015. № 5. С. 6-11.
- 3. Санфиров И. А., Ярославцев А. Г. Опыт применения сейсморазведки ОГТ для решения инженерно-геологических задач // Геофизика. 2004. № 3. С. 27-30.

RESULTS OF INTEGRATION OF LONGITUDINAL AND NON-LONGITUDINAL SYSTEMS OF OBSERVATIONS

¹Valery Y. Bobrov, ^{1,2}Andrey I. Babkin ¹«Mining Institute UB RAS», ²Perm State University, Perm ¹bvy1692@gmail.com, ²aib@mi-perm.ru

Summary. In this work we consider the results of the joint use of longitudinal and non-longitudinal observing systems in order to determine the features of the distribution of structural and physical parameters in the mine section of the salt mine.

Key words: low-deep seismic exploration, broadside spread, salt formations, mechanized hammer AWD-33.

УДК 550.8

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И НАДЕЖНОСТИ ФЛЮИДОУПОРОВ БИОГЕРМНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В РАЗРЕЗЕ КАРБОНАТНОЙ ТОЛЩИ ВЕРХНЕГО ДЕВОНА В ПРЕДЕЛАХ МУХАНОВО-ЕРОХОВСКОГО И УСТЬ-ЧЕРЕМШАНСКОГО ПРОГИБОВ

Вязовкина Анастасия Олеговна

Самарский государственный технический университет, г. Самара vz-anastasia@mail.ru

Аннотация. На основе анализа геолого-геофизических критериев выделены органогенные постройки в разрезе карбонатной толщи верхнего девона. Проанализированы условия осадконакопления биогермных образований франскофаменского возраста и покрышек. Построена серия корреляционных схем и карта толщин флюидоупоров. В результате составлена карта перспективных зон поисков залежей, приуроченных к ловушкам рифогенного типа с учетом надежности покрышки.

Ключевые слова: рифы, флюидоупоры, геологоразведочные работы, сейсморазведка, неантиклинальные ловушки, условия осадконакопления, схема корреляции, Муханово-Ероховский прогиб, геологические риски.

Актуальность изучения ловушек неантиклинального типа обусловлена необходимостью прироста запасов нефти на текущем этапе высокой степени разведанности начальных суммарных ресурсов Самарской области.

Поиск и разведка ловушек такого типа является сложной задачей и требует разработки новых теоретических и методических основ. Поэтому одновременно с сейсмическими исследованиями проводился большой объем научно-исследовательской работы, направленной на выявление возможностей формирования ловушек неантиклинального типа различного генезиса на территории Самарской области.

Проведен комплексный анализ результатов интерпретации сейсморазведочных работ метода общей глубинной точки (МОГТ-3Д и МОГТ-2Д), геофизических исследований скважин (ГИС) глубокого бурения, нефтеносности, керна на территории Самарской области. Проанализирована палеогеографическая обстановка на территории в средне- и верхнедевонское время. Определены наиболее благоприятные зоны развития ловушек седиментационного типа.

На основе увязки данных бурения и сейсморазведки МОГТ была проведена стратификация временного разреза и определены интервалы поиска построек седиментационного типа, которые по характерному набору параметров волнового поля [2] выявлены на временных разрезах сейсмических профилей.

На основании анализа волнового поля на временных разрезах профилей МОГТ-ЗД установлено широкое развитие построек седиментационного типа. На основании различий в морфологии, степени выраженности в структурных этажах и влиянии их на толщи облекания, можно разделить рифогенные залежи на три группы.

1. К первой группе биогермов относятся резко выраженные, средне- и высокоамплитудные «тела», в основном франско-фаменского, реже заволжско-турнейского возраста, формирующие структуры облекания в вышележащих толщах.

Для них характерным признаком является увеличение толщин интервала D3fm-D3tm и амплитуды поднятий, сформированных по поверхности облекания фаментурнейских биогермов, по всем вышележащим горизонтам C1t, C1bb, C2b, C2vr, а по девонским отложениям они характеризуются малоамплитудными поднятиями.

2. Ко второй группе биогермных массивов и биогермов можно отнести седиментационные тела относительно небольших амплитуд (до 30 м), осложняющие структурные зоны, чаще всего линейные. Наличие таких биогермов обуславливает наличие локальных, иногда зональных, несоответствий структурных планов.

3. К третьей группе биогермов относятся одиночные средне- и малоамплитудные биогермы, находящие отражение только в непосредственно прилегающих к ним отложениях и практически не отображенные в выше- и нижележащих толщах. Они встречаются относительно редко [2].

Контуры выявленных построек рифогенного типа были увязаны со сводными структурными построениями по отражающим горизонтам турнейского яруса (C1t), фаменского яруса (D3fm), тиманского горизонта (D3tm), и картой изопахит интервала D3tm-C1t.

Надежной покрышкой для залежей нефти во франско-фаменских отложениях является терригенно-карбонатная пачка малевского возраста (рис. 1).

С целью изучения геологических особенностей флюидоупоров построена серия корреляционных схем через различные зоны (забортовую, внешнюю, внутреннюю бортовую и осевую) Муханово-Ероховского прогиба, определены типы разреза и мощность отложений малевского возраста, характерные для каждой зоны. Также проведен анализ глинистых прослоев, определяющих степень надежности «покрышки» на каротажной диаграмме. С учетом анализа данных ГИС, керна и корреляционных схем малевской толщи, основанных на опорных скважинах, была построена схематическая

карта мощности малевской толщи. Составлена схема развития отложений малевского возраста, характеризующая степень надежности покрышки, относительно зон МЕП и осложняющих их построек седиментационного типа [1].



Рис. 1. Изменение мощности и литологического состава малевского горизонта

Построена карта перспектив поисков залежей, приуроченных к ловушкам рифогенного типа, относительно надежности покрышки с нанесенными постройками, выявленными в результате сейсморазведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Вязовкина А. О. Анализ условий формирования флюидоупоров рифогенных залежей франско-фаменского возраста в пределах южной части Самарской области. Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации». 2018. №2. С. 27-31.
- Малыхин М. Д. Сейсморазведка при выявлении рифогенных построек и связанных с ними залежей углеводородов (на примере Усть-Черемшанского, Муханово-Ероховского прогибов и прилегающих к ним палеошельфов): дис. к.г.-м.н.: 04.00.17 / Саратов, Саратовский государственный университет, 1984. 235 с.
- 3. Мирчинк М. Ф. Рифы Урало-Поволжья, их роль в размещении залежей нефти и газа и методика поисков. М. : Недра, 1974. 115 с.

GEOLOGICAL DETAILS AND RESERVOIR CAP ROCKS RALIABILITY OF UPPER DEVONIAN CARBONATE REEFOGENIC DEPOSITS WITHIN MUCHANOVO-EROKHOVSKY DEFLECTION

Anastasia O. Vyazovkina Samara State Technical University, Samara vz-anastasia@mail.ru

Summary. The Geological and geophysical criteria of organogenic (bioherm) buildings and cap rocks allocation are considered. On the basis of the data of deep drilling the stratification section of Fransian-Tournaisian deposits was

carried out. According to the deep wells, the preparation of correlation scheme series and the construction of a schematic thickness map of capping sediments. The localization of "reliable" covers development zones of deposits map, limited to bioherm formations, substantiation of predictable zones was plotted. **Key words:** reefs, caprocks, geological exploration, seismic survey, non-anticlinal traps, depositional conditions, correlation scheme, Muchanovo-Erokhovsky deflection, subsurface risking.

УДК 550.8

ИЗУЧЕНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ВРЕЗОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Вязовкина Анастасия Олеговна Самарский государственный технический университет, г. Самара vz-anastasia@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены критерии выделения эрозионных врезов во временном сейсмическом поле, на картах атрибутов, по результатам инверсионных преобразований. Совместный анализ материалов бурения и сейсморазведки позволил выделить перспективные зоны формирования ловушек, связанных с врезами.

Ключевые слова: неантиклинальные ловушки, эрозионные врезы, сейсморазведка, сейсмическая инверсия, верейские врезы.

В настоящее время большинство открытых месторождений углеводородов связано с крупными антиклинальными структурами. Постепенная их выработка ставит острый вопрос перспективы прироста запасов углеводородного сырья. Решением этого вопроса может стать поиск новых нефтегазовых объектов, приуроченных к ловушкам другого, неантиклинального типа. Особенно это актуально в давно освоенных районах с существенно-выработанными месторождениями, но с развитой инфраструктурой. Неантиклинальные ловушки обычно имеют очень сложное строение и резкую литологическую неоднородность. Основным методом их исследования должна стать сейсморазведка, которая на современном этапе позволяет детально изучить и дать оценку фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и экранов в ловушках такого типа. В работе рассмотрены верейские эрозионные врезы как перспективные на поиски залежей нефти объекты.

Актуальность изучения влияния эрозионно-карстовых врезов на размещение нефти в верейско-башкирских отложениях продиктована необходимостью прироста запасов нефти на текущем этапе высокой степени разведанности начальных суммарных ресурсов. Поэтому наблюдается резко возросший интерес специалистов к нефтяным месторождениям, осложненным эрозионно-карстовыми врезами.

Новые сейсморазведочные материалы, данные глубокого бурения, полученные в последние годы, способствовали изменению представлений о строении и генезисе эрозионно-карстовых форм. В результате возникла необходимость усовершенствования существующих знаний, связанных с ловушками, осложненными эрозионно-карстовыми врезами. Вследствие этого, представляет интерес решение задачи выделения их и прогнозирования толщин, а также изучение локальных структур, так как в зонах развития врезов в случаях благоприятного сочетания их с локальными структурами верейскобашкирских отложений формируются преимущественно ловушки повышенной емкости, поскольку толщина песчаников достигает на таких участках значительных величин.

Для разведки и разработки залежей, связанных с эрозионными врезами в верейской толще пород, особое значение приобретает осмысление процессов, приводящих к формированию этих важнейших структурных образований. Кроме того, важна и методика их прослеживания в разрезе и пространстве.

Анализ литолого-фациальных особенностей пород показывает, что отложения верейского горизонта сформировались в мелководном морском бассейне с соленостью, близкой к нормальной. Периодически карбонатообразование нарушалось привносом в бассейн глинистого материала, что было обусловлено изменением уровня моря. Колебание уровня моря способствовало зарождению донных течений, которые размывали уже накопившиеся осадки. В результате сформировались эрозионные углубления – врезы. В результате деятельности донных течений подверглись размыву осадки альютовского подгоризонта и верхняя часть башкирского яруса. После некоторого ослабления их деятельности во врезах началось накопление песчано-алевритовых пород.

В связи с вышеизложенным, на участках развития эрозионно-аккумулятивных, аккумулятивных и эрозионно-останцовых форм в отложениях верейского горизонта и на поверхности башкирского яруса необходим анализ данных сейсморазведочных работ с целью выделения ловушек неантиклинального типа.

Критериями выделения эрозионно-карстовых врезов являются:

– прогибание отражающего горизонта, связанного с башкирской денудационной поверхностью;

появление дополнительных отражений в толще отложений, выполняющей врез;

- нарушение корреляции отражений в теле толщи, заполняющей врез;

– образование петель возврата отраженных волн для врезов с крутыми бортами [2] (рис. 1).



Рис. 1. Отображение эрозионных врезов в волновом сейсмическом поле

Для выделения аномальных зон сейсмической записи были проанализированы карты атрибутов динамического анализа и вертикальные срезы по кубам спектральной декомпозиции. На качественном уровне довольно четко прослеживаются палеорусло, характерное для отложений этого интервала (рис. 2).



Рис. 2. Отображение врезов на слайсах сейсмических атрибутов

Проанализирована карта изопахит сейсмостратиграфического интервала C2b-C2vr. Центральную часть участка в субмеридиональном направлении в виде узкой полосы увеличенных толщин (60-90 м) пересекает узкий палеопрогиб.

В рамках работы выполнена инверсия по 11 скважинам. Согласно полученной модели акустического импеданса, аккумулятивные формы, сформировавшиеся над зоной вреза, находят свое отображение (рис. 3).



Рис. 3. Отображение русловых объектов по кубу акустичекого импеданса

На структурной карте по отражающему горизонту C2vr выделяются аккумулятивные формы (сформированные над зоной вреза по отражающему горизонту C2b) на участках структур. Выделенные аккумулятивные формы находят отображение в волновом поле (рис. 4).

В результате работы выделены структуры, в которых залежи пласта приурочены к ловушкам эрозионно-аккумулятивного типа. Оценены геологические запасы. Произведен расчет технико-экономических показателей.

Совместный анализ материалов бурения и сейсморазведки позволил выделить перспективные зоны формирования ловушек, связанных с верейскими врезами.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время верейские «врезы» недоизучены. Необходимо дальнейшее их изучение путем комплексного анализа данных сейсморазведки и бурения скважин, так как они могут являться перспективными зонами для поисков залежей нефти.



Рис. 4. Результаты площадной корреляции палеорусловой системы по амплитудному кубу и ее отображение на разных вертикальных сечениях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Грачевский М. М., Берлин Ю. М. О погребенной речной сети в верейском горизонте на востоке Русской платформы // Нефтегазовая геология и геофизика. 1968. № 6. С. 12-15.
- 2. Ларочкина И. А. Концепция системного геологического анализа при поисках и разведке месторождений нефти на территории Татарстана. Казань : Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2013. 232 с.
- 3. Лисовская Т. И., Малыхин М. Д. Выявление эрозионных врезов на северо-западе Куйбышевской области и оценка перспектив их нефтеносности // Нефтегазовая геология и геофизика. 1982. № 5. С. 5-7.
- 4. Мухаметшин Р. З. Эрозионные врезы и их нефтеносность: учебное пособие. Казань : Изд-во Казан. Ун-та, 2016. 88 с.
- 5. Смирнов В. Г. Визейские и верейские эрозионные «врезы» перспективные объекты на поиски залежей нефти и газа // Геология нефти и газа. 1994.

EROSIVE PARTIAL BARRIERS STUDYING ACCORDING TO THE SEISMIC DATA

Anastasia O. Vyazovkina Samara State Technical University, Samara vz-anastasia@mail.ru

Summary. The erosive partial barriers allocation criteria in the temporal seismic field, on attribute maps, on the results of inversion transformations are

considered. Joint analysis of drilling and seismic materials made it possible to identify promising zones for the formation of traprocks associated with the partial barriers.

Key words: nonanticlinal traprocks, erosive partial barriers, seismic measurements, seismic inversion, Vereiskian partial barriers.

УДК 550.8 ПОСТРОЕНИЕ НОВОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА СП РАДАЕВСКОГО ГОРИЗОНТА В ПРЕДЕЛАХ КАМСКО-КИНЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГИБОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОГО И ВОСТОЧНОГО ЛУ

Вязовкина Екатерина Олеговна Самарский государственный технический университет, г. Самара kate_vyazovkina@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены особенности формирования развития пластов СІ, СІа, СІІ в пределах ККСП. В результате работы построена модель пласта СІІ. Обоснованное выделение пластов СІІ, СІа, СІ радаевско-бобриковского терригенного комплекса пород и пересмотр границ их залегания будут способствовать более эффективной и рациональной системе разработки пластов этого интервала.

Ключевые слова: Камско-Кинельская система прогибов, неантиклинальные ловушки, Муханово-Ероховский прогиб, геологическая модель, радаевский горизонт, система разработки, схема корреляции, геофизические исследования скважин (ГИС).

Терригенная толща нижнего карбона издавна рассматривалась как весьма благоприятная на клиноформные ловушки. Наиболее перспективными в этом отношении оценивались внутренние прибортовые зоны Муханово-Ероховского прогиба (МЕП), где стратиграфически выклиниваются отложения косьвинского (пласты CVII, CVI, CV) и радаевского (CIV, CIII, CII) горизонтов. Перекрывающие отложения бобриковского горизонта (Пласт CI) имеют повсеместное распространение на территории Самарской области. А за пределами ККСП пласт CI индексируется как Б2.

Пласт СІІ, который является объектом исследований, залегает вблизи кровли радаевского горизонта, отделяясь от бобриковского пачкой глин небольшой мощности.

Согласно имеющимся данным, пласт СІІ отличается хорошей региональной выдержанностью в пределах Камско-Кинельской системы прогибов, выполняя крупное палеорусло.

Общая толщина радаевского горизонта 70-120 м закономерно увеличивается к погруженным участкам прогибов. Самым широким распространением пользуется пласт-коллектор СІІ, отличающийся региональной выдержанностью в прогибах Камско-Кинельской системы. Пласт СІІ всюду перекрывается пачкой глин толщиной 8-15 м, обладающей надежными экранирующими свойствами.

Бобриковский горизонт рассматриваемого типа разреза представлен исключительно терригенными породами. В раннебобриковское время произошло значительное оживление речной деятельности. Камско-Кинельская система прогибов и поднятий в регрессивные фазы седиментации существенно повлияла на мощности формирования осадков и характер их дифференциации. Со второй половины бобриковского времени возросла роль песчаников в разрезе, в результате чего произошло заполнение прогибов и геоморфологическое выравнивание их к концу бобриковского времени. Литологически бобриковский горизонт подразделяется на две пачки: нижнюю – переходную, включающую песчаники пласта CIa, и верхнюю, отвечающую промышленно-нефтеносному пласту CI, характеризующемуся максимальным развитием песчаников, являющихся промышленно-нефтяным пластом CI.

В результате получена новая модель развития пласта СІІ (рис. 1). Мощность пласта сокращается от осевой зоны в сторону внешней бортовой зоны ККСП.



Рис. 1. Выделение пласта СІІ по линии профиля І-І'

Отложения турнейского яруса перекрываются косьвинскими глинами, радаевский горизонт отбивался по кровле глин (подошва пласта CI, CIa).

Обоснованное выделение пласта СІІ радаевского горизонта и пересмотр границ его залегания будут способствовать более эффективной и рациональной системе разработки пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Обоснование и выделение новых направлений геологоразведочных работ в районе с высокой степенью изученности (Самарская область) / Александров А. А. [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук «Проблемы нефти и газа». Самарский научный центр РАН, 2002. С. 9-14.
- 2. Геология и нефтеносность Камско-Кинельских прогибов. Изд-во Казанского университета, 1970. С. 307.
- 3. Ларочкина И. А., Ненароков С. Ю., Шикарова Т. В. Перспективы нефтеносности пород Елховского горизонта в прогибах Камско-Кинельской системы на

территории Татарии // Геология и освоение ресурсов нефти в Камско-Кинельской системе прогибов. М. : Наука, 1991.

- 4. Мирчинк М. Ф., Хачатрян Р. О. Тектоника и зоны нефтенакопления Камско-Кинельской системы прогибов. М. : Наука, 1965.
- 5. Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. Т. III. Каменноугольные отложения Волго-Уральской нефтегазоносной области. Л. : Недра, 1970.
- Ованесов Г. П., Абрикосов И. Х., Хачатрян Р. О. Рифы Камско-Кинельской системы прогибов и их роль в аккумуляции нефти // Материалы 24 сесиии Междун. Геолог. конгр. Докл. Сов. геологов. Пробл. 5. Горючие ископаемые. М. : Наука, 1972. С. 70-76.

THE NEW CII LAYER RESERVOIR MODEL DEFINITION OF RADAEVIAN HORIZON WITHIN KAMSKO-KINELSKAYA DOWNFOLDS SYSTEM ON THE EXAMPLE OF WESTERN AND EASTERN LICENCE

Ekaterina O. Vyazovkina Samara State Technical University, Samara kate_vyazovkina@mail.ru

Summary. Features of CI, CIa, CII reservoirs development formation within KKDS are considered in the scientific work. As a result of work the CII reservoir model was built. The well-grounded allocation of reservoirs CII, CIa, CI Radaevian-Bobrikovian terrigenic rock complex of the and borders revision of their occurrence will promote more effective and rational layers development system of this interval.

Key words: Kamsko-Kinelskaya downfolds system, non-anticline traps, Muchanovo-Erohovsky deflection, geological model, Radaevian horizon, exploitation system, correlation scheme, well-logging measurements.

УДК 550.8.07: 550.834.08 РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ИНЖЕНЕРНОГ

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ИНЖЕНЕРНОГО ЦИФРОВОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО РЕГИСТРАТОРА

Гильмундинов Антон Юрьевич ФГБОУ ВО ''ВГУ'', г. Воронеж scutep@yandex.ru

Аннотация. Описание цифрового геофизического регистратора, построенного на основе модуля АЦП L-Card E14-440, позволяющего производить учебно-полевые работы по направлениям сейсмо- и электроразведки.

Ключевые слова: цифровая регистрация, геофизическая аппаратура, учебное оборудование.

Изучение теоретических курсов в рамках программ «Геофизическая аппаратура», «Сейсморазведка» и «Электроразведка» требует получения первичных навыков практического использования самых разнородных комплексов геофизической аппаратуры, используемой в этих учебных дисциплинах [1, 5, 6]. Существующее разнообразие
таковых комплексов не всегда удается обеспечить в рамках учебного заведения, поскольку стоимость серийной геофизической аппаратуры, особенно зарубежного производства, чрезвычайно высока. С этой целью было принято решение о создании недорогого многоканального комплекса в полевом исполнении [4], который позволяет производить регистрацию требуемых сигналов с геофонов или электродов без особой сложности и наглядно обеспечивает все необходимые функциональные требования к основным этапам регистрации и преобразования геофизических сигналов. Основой такого комплекса послужил относительно дешевый промышленный аналого-цифровой преобразователь E14-440 фирмы L-Card [2].

Внешний вид созданного цифрового регистратора показан на рисунке 1. В таблице 1 представлены его основные характеристики.



Рис. 1. Внешний вид учебного цифрового геофизического регистратора

Таблица 1

Разрядность АЦП	14 бит
Количество каналов	16 (дифференциальных)
Аналоговые КУ	1, 50, 1000
Внешняя синхронизация	3 режима
Питание	Рв аккумулятор 12В/7Ач
Macca	5 кг

В качестве усилительных элементов для каждого из каналов были применены недорогие инструментальные микросхемы фирмы Analog Devices, обладающие малой максимальной нелинейностью (40 ppm), низкими входным напряжением (50 мкВ, макс.) и током смещения (1 нА, макс.). По этим показателям микросхема AD620 является идеальным выбором для прецизионных измерительных систем [3].

Применение всех этих решений позволило получить полевой прибор, отличающийся очень низкой себестоимостью исполнения при полной функциональной реализации всех основных этапов обработки сигналов, существенно различающихся по частотному диапазону. Именно эти аспекты и являются одной из главных особенностей реализованного проекта.



Рис. 2. Пример сейсмограммы при встречной расстановке пикетов

В результате полевых испытаний были получены тестовые записи, которые затем были визуализированы в программе MathCad (рис. 2, 3).

При работе с устройством используется стандартное программное обеспечение фирмы L-Card пакет LGraph2, предназначенный для работы с модулем АЦП. Программа позволяет настраивать параметры регистрации, а также записывать сигналы в файл на подключенном к АЦП компьютере и просматривать показания каждого из каналов в режиме реального времени (режиме осциллографа).



Рис. 3. Детальный пример регистрации сигнала с сейсмоприемника, расположенного на расстоянии 30 метров от ПВ

Автор выражает благодарность своему руководителю проф. В.Н. Глазневу за идею, поддержку и содействие в выполнении данного проекта.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-05-00336

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка. Тверь, АИС, 2006. 586 с.
- 2. Внешний модуль АЦП/ЦАП/ТТЛ на шину USB 1.1. Руководство пользователя. М. : изд. ЗАО Л-Кард, 2001. 77 с.
- 3. Гарманов А. В. Подключение измерительных приборов, решение вопросов электросовместимости и помехозащиты. М. : изд. ЗАО Л-Кард, 2003. 21 с.
- 4. Гильмундинов А. Ю. Разработка цифрового геофизического регистратора / XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник материалов. Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2018. С. 57-60.
- 5. Глазнев В. Н. Геофизическая аппаратура. [Электронный ресурс]. URL: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id2719.
- 6. Уаров В. Ф. Сейсмическая разведка. Учебное пособие. М. : Вузовская книга, 2007. 196 с.

UNIVERSAL GEOPHYSICAL TRAINING STATION BASED ON INDUSTRIAL DIGITAL USB MODULE

Anton Y. Gilmutdinov VSU, Voronezh scutep@yandex.ru

Summary. Description of the digital geophysical recorder built on the basis of the ADC module L-Card E14-440, which allows to carry out training and field work in the areas of seismic and electrical exploration.

Key words: digital recording, geophysical equipment, teaching equipment.

УДК 550.8.056

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИС ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА

Горбачёва Анна Павловна ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь gorbacheva@pngf.com

Аннотация. Представлен опыт использования метода спектрометрического гамма-каротажа на месторождениях Пермского края для решения задач по определению содержания естественных радиоактивных элементов и определению минерального состава глин, выявлению литологических особенностей разреза, оценке условий осадконакопления и установления фациальной природы песчаных тел.

Ключевые слова: спектральный гамма-каротаж, минеральный состав глин, массовое содержание радиоактивных элементов, литологические особенности разреза, условия осадконакопления, фациальный анализ.

При изучении разрезов эксплуатационных и разведочных скважин в сложных условиях Пермского края все чаще возникает необходимость использования расширенного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС). В последнее время в качестве дополнительного метода в составе стандартного комплекса ГИС все чаще применяется метод спектрометрического гамма-каротажа (СГК). СГК – наиболее чувствительный метод изучения литологических особенностей разреза, основанный на регистрации гамма-излучения естественно-радиоактивных элементов в скважине, на анализе энергетического спектра и определении массового содержания радиоактивных элементов [3].

В ПАО «Пермнефтегеофизика» в рамках расширенной программы опытнопромышленных работ в 2016, 2017 и 2018 гг. методом СГК было исследовано более 60 скважин. Исследования проводились в карбонатных и терригенных отложениях аппаратурно-программным комплексом многопараметрического радиоактивного каротажа (АИНК-73С-2) отечественного производства Всероссийского научноисследовательского института автоматики имени Н.Л. Духова. Целью проведения исследований стали увеличение эффективности ГИС при оценке коллекторских свойств, проведение анализа достоверности определения минерального состава глин и фациальных обстановок.

Определение минерального состава глинистого вещества

По энергетическим спектрам естественного гамма-излучения, зарегистрированного модулем ГК-73С, определяется массовое содержание радиоактивных элементов: тория (Th), урана (U) и калия (K).

Далее, при помощи кросс-плот анализа с использованием палетки «Schlumberger» (для мономинерального состава глин) производится оценка минерального состава глинистого вещества по всему интервалу исследования и по отдельным стратиграфическим подразделениям, в породах-покрышках и коллекторах.

Глинистые породы в интервале исследования различаются по минеральному составу. Чаще всего в интервалах выделенных пластов-коллекторов содержание калия и тория минимально (породы малоглинистые).

На основании результатов оценки минерального состава глинистого вещества обращается внимание на возможные осложнения при разработке продуктивных интервалов. Например, осложнения могут возникнуть из-за высоких сорбционных особенностей монтмориллонита (разбухаемости глин с его содержанием) при закачке пресных вод. Для повышения однозначности результатов интерпретации данных СГК автором проведена систематизация данных по минеральному составу глин на месторождениях Пермского края.

По скважинам с отбором керна по данным описания шлифов оценивается корректность определения минерального состава глин. Автором проводится сопоставление данных СГК с результатами спектрометрического и рентгеноструктурного (минеральный состав глинистой фракции) анализа керна, исследованного в лабораториях филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть». И, на основе этих результатов, оценивается возможность более корректного определения по данным СГК минерального состава глин в смеси для условий отдельных пластопересечений. При этом учитываются как состав, так и содержание основных минералов, присутствующих в отложениях. Установлено, что некоторые расхождения, возможно, связаны с тем, что для более сложного состава глин определение по палетке для мономинерального состава не достаточно и требуются дополнительные данные. В настоящее время дополнительно применяется расчет минерального состава глинистого вещества путем решения системы линейных уравнений с учетом основных минералов, присутствующих в исследуемых отложениях.

Выявление литологических особенностей разреза

Средняя массовая концентрация калия (К) в земной коре равна 2.59 %, среднее содержание тория (Th) – 12 ppm, среднее содержание урана (U) – 3 ppm [2]. Повышенное содержание в породах урана является признаком наличия органического вещества (углерода) и битума, тория – акцессорных минералов в составе глин. По ранее проведенному анализу описания большого количества шлифов (более 100) по месторождениям Пермского края установлено, что в бобриковских и радаевских глинах содержание акцессорных минералов, таких как циркон, сфен, турмалин, существенно и составляет до 4-5 % при встречаемости от 66 до 97 %.

На рисунке 1 приведен пример повышенных показаний содержания урана (U), соотношения урана и калия (U/K) в интервале нефтематеринских (битуминозных) доманиковых отложений (2342-2358.5 м) по одной из эксплуатационных скважин Стретенского месторождения.

Данные СГК, с учетом тесной связи содержания урана (U) с содержанием органического углерода, подтверждают битуминозность нефтематеринских пород и согласуются с объемной литологической моделью породы, построенной по комплексу методов ГИС (РК+АК+ГГКлп+БК), а также подтверждаются данными керна.



Рис. 1. Повышенное содержание U в интервале битуминозных пород доманикового горизонта

Определение коэффициента глинистости

Достоверное определение объемной глинистости – актуальная задача при расчете пористости и определении емкостных свойств пород по данным ГИС. Более корректное определение объемной глинистости осуществляется по данным СГК через калий-ториевый индекс или через концентрацию тория без урановой составляющей [3]. В процессе химического преобразования пород торий легко гидролизуется и поэтому обладает ограниченной подвижностью (малопереносим). Кроме того, торий имеет тенденцию концентрироваться в глинистых минералах.

На рисунке 2 приведен пример оценки глинистости по данным интегрального ГК и спектрального ГК по концентрации тория и калия в скважине Таныпского месторождения. По стандартному комплексу ГИС в интервалах пластов Тл1в и Тл1б пласты коллекторы не были выявлены из-за коэффициента глинистости (Кгл), превышающего предельно допустимое значение для карбонатных коллекторов. Было установлено, что за счет присутствия в своем составе урановой компоненты гамма-излучения Кгл завышен.

С учетом пересчитанных значений глинистости и открытой пористости были скорректированы границы нефтенасыщенных коллекторов, рекомендованных для испытания в колонне. После перфорации интервалов 1511–1516.5 м, 1519–1521 м и вызова притока при помощи свабирования из интервалов была получена нефть. На сегодняшний день скважина работает с дебитом около 11 м³/сут с 10 % содержанием воды.

Подобные расчеты специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» с участием автора проводятся на Дозорцевском, Павловском, Сосновском, Стретенском и Таныпском месторождениях. В заключениях обращается внимание на интервалы с пересчитанной глинистостью и выдаются рекомендации для дополнительного источника притока. Таким образом, результаты определения объемной глинистости по данным СГК учитываются при оценке общей и эффективной пористости коллекторов по данным комплекса ГИС.



Рис. 2. Сопоставление результатов оценки объемной глинистости по данным СГК и ГК в скважине Таныпского месторождения

Оценка условий осадконакопления, фациальный анализ, сопоставление с данными керна.

По данным СГК (по геохимическому показателю (Th/U)) оцениваются условия осадконакопления [5]:

более 7 – континентальные (окислительная среда),

менее 7 – прибрежно-морские,

менее 2 – *морские*.

Установление фациальной природы песчаных тел, выявление особенностей внутреннего строения песчаных тел и карбонатных массивов, условий формирования проводится по комплексу методов ГИС (СГК, ЭМС – электромагнитное сканирование). Решение этих задач имеет первостепенное значение при поисках литологических ловушек нефти и газа, позволяет осуществлять прогноз их пространственного размещения, положения зон выклинивания и изменения коллекторских свойств пород. По данным СГК оцениваются условия осадконакопления, по форме кривой ГК устанавливается фациальная природа песчаных тел [1, 2], по данным ЭМС определяются элементы залегания, их направленность и активность гидродинамического режима водной среды. Данные ЭМС во многом облегчают интерпретацию по определению условий формирования песчаных тел. Например, фации кос и фации отмелей по кривой ГК часто имеют одинаковую форму, однако их формирование происходит в разных гидродинамических режимах. Фации кос – активный режим, фации отмелей – спокойный режим. Привлечение

данных ЭМС в таких случаях позволяет более точно оценить условия формирования песчаных тел.

Автором ведется аналитическая работа по сопоставлению и оценке выделения фациальных комплексов и фаций с данными керна (макроописания, фильтрационноемкостные свойства) на месторождениях Пермского края, выделяются основные особенности, характерные для того или иного фациального комплекса и фаций.

Уточнение прогнозных литолого-фациальных схем

Данные ГИС по оценке фациальной природы песчаных тел подтверждают или корректируют прогнозные литолого-фациальные карты по данным сейсморазведки, пример приведен на рисунке 3. По данным ГИС были скорректированы области распространения предполагаемых проток в бобриковское и радаевское время по Моховскому месторождению.



Рис. 3. Литолого-фациальная схема отложений тульского, бобриковсого и радаевского циклитов на Моховском месторождении

Геологическая и экономическая эффективность

Наряду с обширной геологической информацией, получаемой при помощи спектрометрического гамма-каротажа, существует ряд важных экономических показателей эффективности использования метода, которые позволяют рекомендовать включить его в стандартный комплекс ГИС:

- при относительно невысокой стоимости проведения геофизических исследований с регистрацией метода СГК и небольших временных затратах на его запись, метод позволяет получить дополнительную информацию, значительно повышающую точность и информативность ГИС;

- вовлечение в разработку дополнительно выделенных при помощи метода СГК интервалов, таких как Тл1б и Тл1в, позволит увеличить добычу и повысить эффективность разработки месторождений эксплуатационного фонда; - в настоящее время специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» рассматривается вариант применения модульного прибора 2ННК-Т+НГК+ГК/ГКС+ЛМ-73 в комплексе «МАГИС». Такой вариант позволит не тратить дополнительно время на спускоподъемные операции, а проводить исследования вместе с методами РК, ГГК-ЛП, АК-ВС, ДС за один спуск-подъем. Сократив время на производство ГИС, сократится и стоимость записи метода, что позволит рекомендовать включить его в стандартный комплекс;

- использование аппаратуры отечественных производителей позволяет серьезно подойти к вопросу импортозамещающих технологий, экономическому росту и развитию предприятий РФ.

Заключение

1. По данным спектрометрического каротажа решаются задачи по определению содержания естественных радиоактивных элементов и определению минерального состава глин на месторождениях Пермского края, выявляются литологические особенности разреза и уточняется методика расчета глинистости.

2. Метод СГК в комплексе с данными ЭМС успешно используется для оценки условий осадконакопления, установления фациальной природы песчаных тел и уточнения прогнозных литолого-фациальных схем. Эти данные позволяют корректировать сетку бурения согласно оперативно уточненным данным по трассированию песчаных тел и повысить эффективность добычи.

3. Корректность определения минерального состава глинистого вещества и определения фаций подтверждается микроописаниями данных керна.

4. Преимущества спектрометрического гамма-каротажа как дополнительного метода исследования нефтегазовых скважин очевидны. Широкое применение СГК, введение его в стандартный комплекс геофизических исследований скважин повысит эффективность исследований и точность определения фильтрационно-емкостных характеристик пластов-коллекторов.

5. Возможность увеличения продуктивности скважин за счет вовлечения в эксплуатацию дополнительных интервалов-коллекторов, не выявленных ранее по стандартному комплексу ГИС, а также возможность регистрации метода за одну спуско-подъемную операцию делает экономически выгодным включение метода СГК в стандартный комплекс ГИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ежова А. В. Литология: учебник. Томск: Томский политехнический университет, 2008.
- 2. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел литологических ловушек нефти и газа. Л.:Недра, 1984. 260 с.
- 3. Урманов Э. Г. Спектрометрический гамма-каротаж нефтегазовых скважин. М. : ВНИИОЭНГ, 1994.
- 4. Урманов Э. Г. Спектрометрический гамма-каротаж нефтегазовых скважин Изд. 2-е. М. : ВНИИгеосистем, 2010.
- 5. Фертл В. Х. Спектрометрия естественного гамма-излучения в скважине / «Нефть, газ и нефтехимия за рубежом». М., 1983, №№3-11.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WELL OPERATIONS THROUGH THE USE OF DATA OF SPECTROMETRIC GAMMA LOGGING

Anna P. Gorbacheva PSC «Permneftegeophysica», Perm gorbacheva@pngf.com

Summary. The experience of using the method of spectrometric gammalogging at the deposits of Permsky Krai for solving problems of determining the content of natural radioactive elements and determining the mineral composition of clays, revealing the lithological features of the section, assessing the conditions of sedimentation and establishing the facies nature of sand bodies are presented.

Key words: spectral gamma-ray logging, mineral composition of the clays, the weight content of radioactive elements, and lithological characteristics of the section, conditions of sedimentation, facies analysis.

УДК 550.34 СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ЗА 2018 ГОД ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ УРАЛЬСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

¹Гусева Наталья Сергеевна, ^{1,2}Голубева Инга Викторовна, ^{1,2}Белевская Мария Александровна, ^{1,2}Шулаков Денис Юрьевич, ^{1,2}Зверева Анастасия Сергеевна, ^{1,2}Верхоланцев Филипп Геннадьевич, ^{1,2}Варлашова Юлия Викторовна, ¹Злобина Татьяна Викторовна ¹«ГИ УрО РАН», г. Пермь, ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь natali.guseva.2010@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся основные результаты инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Уральского региона за 2018 год. Отдельно рассмотрены сейсмические события Пермского края, Свердловской и Челябинской области. Представлена карта макросейсмических проявлений землетрясения 4 сентября 2018 г. в окрестностях г. Катав-Ивановск Челябинской области магнитудой 5.4, сильнейшего инструментально зафиксированного на Урале.

Ключевые слова: сейсмические наблюдения, Уральский регион, землетрясение, уральская сейсмологическая сеть.

Постоянные инструментальные сейсмологические наблюдения в регионе были начаты в 1999 г. лабораторией природной и техногенной сейсмичности Горного института УрО РАН и продолжаются по настоящее время [1]. Инструментальный контроль сейсмической активности территории Уральского региона проводится посредством сети из семи станций на территории Пермского края («PR0R» Верхнечусовские Городки, «PR1R» Романово, «PR2R» Добрянка, «PR3R» Кунгур, «PR4R» Власы, «PR6R» Екимята и «PR7R» Сараны) (рис. 1). Мониторинговые наблюдения за сейсмичностью включают в себя комплекс работ по поддержанию работоспособности сети, а также сбор, регулярную обработку, передачу и сохранение полученной информации. Все станции оснащены оборудованием, обеспечивающим доступ в Интернет по каналам спутниковой и мобильной связи, что позволяет удаленно управлять ими и получать данные почти в реальном времени. Для надежной локации региональных событий также привлекаются данные с сейсмостанций соседних регионов, входящих в сейсмологическую сеть ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск («ARU» Арти, «SVUR» Североуральск, «SVE» Свердловск, «KAUR» Каменск-Уральский, «BA1R» Уфа, «ORR» Оренбург и др.).

Большой объем данных, поступающих со всех станций, позволяет достаточно надежно определять координаты и время в очаге зарегистрированных событий. Развернутая сейсмологическая сеть обеспечивает в центральной части Пермского края регистрацию сейсмических событий с локальными магнитудами (M_L) 1.5-2.0 (рис. 1). Начиная с M_L 2.5 имеется возможность фиксировать практически все события для террито-



Рис. 1. Эпицентры землетрясений на Урале за 2018 г.

рии региона. В результате обработки и интерпретации данных сейсмологических наблюдений на территории Уральского региона за 2018 г. зарегистрировано порядка тысячи событий различной природы. Их можно разделить на три группы: 1) местные природные землетрясения с эпицентральными расстояниями до 1000 км и локальные сейтектонического события смические происхождения – менее 1 %; 2) местные природные события с эпицентральными расстояниями до 1000 км и локальные сейсмические события, связанные с разработкой месторождений полезных ископаемых (горно-тектонические удары), – 2 %; 3) технологические взрывы, производимые на карьерах Пермского края, Свердловской области и других соседних регионов, - 98%. Удаленные события с эпицентральными расстояниями (расстояние от станции до эпицентра) более 2000 км и магнитудами 3 и выше регистрируются постоянно всеми станциями региона.

В 2018 г. сейсмической сетью

Западного Урала было зарегистрировано порядка 300 событий, отнесенных к группе местных и локальных землетрясений, большая часть – это землетрясения в районе Катав-Ивановска Челябинской области с M_L от 1.3 до 5.4. Определить параметры очагов удалось только для 150 из них, так как остальные слишком слабы и зарегистрированы одной, реже двумя станциями. Эпицентры очагов этих землетрясений представлены на рис. 1.

Горно-тектонические удары

Значительная часть местных и локальных событий приходится на горнотектонические удары (события, связанные с разработкой месторождений полезных ископаемых), происходящие на горно-добывающих объектах Свердловской области, таких как Североуральские бокситовые рудники (\approx 50 %) и Высокогорский ГОК (г. Нижний Тагил). Такое распределение уже традиционно и наблюдается в течение более 10 лет. В 2018 г. было зарегистрировано порядка 30 событий такого типа (M_L от 1.9 до 3.4). Большая часть зарегистрированных в 2018 г. горно-тектонических ударов произошла на Североуральских бокситовых рудниках. Самым сильным сейсмическим событием стал горно-тектонический удар, произошедший 24 сентября в 11:19:25 на шахте Ново-Кальинская (г. Североуральск) с M_L 3.4. Сведений о макросейсмических проявлениях нет.

Вторым по значимости сейсмической активности является район г. Н. Тагил, где за 2018 г. произошел один ГТУ 6 ноября в 00:05:25 с M_L 2.4. В районе шахты Естюнинская на поверхности зафиксировано сотрясение массива. Воздушной волны и разрушений в выработках шахты нет. Данных о макросейсмических проявлениях нет.

События Пермского края

Всего за 2018 г. на территории Пермского края сейсмостанциями региона было зарегистрировано семь микроземлетрясений (рис. 1).

Пять сейсмических событий произошли в пределах Добрянского района, они имели M_L 1.8-2.1. Их эпицентры располагались в пределах компактной зоны в районе д.Таборы. Все они зарегистрированы ближайшими станциями региона, расположенными на расстоянии от 48 км, самые крупные из них также были записаны сейсмостанциями Свердловской области на расстояниях более 200 км. Всего за весь инструментальный период наблюдений в данном районе было зарегистрировано более 40 событий, но макросейсмических проявлений ни одно из них не имело. Необычный характер такой сейсмической активности может быть спровоцирован разработкой крупного (извлечено >250 млн. тонн) Ярино-Каменоложскго нефтяного месторождения [3]. Однако нельзя исключать и вероятности тектонической природы данных землетрясений, так как на этой территории известны ощутимые исторические землетрясения [2].

Два сейсмических события обвального типа были зарегистрированы в г. Соликамске в районе аварийной зоны на шахтном поле СКРУ-2. Они имели M_L 1.3-1.7.

Землетрясения соседних регионов

Два сейсмических события предположительно тектонической природы были зарегистрированы в пределах Свердловской области. Первое произошло в районе г. Ивдель 15 марта в 22:53:22 с $M_L = 2.8$ и было зарегистрировано практически всеми станциями сети. Второе было зарегистрировано в районе г. Краснотурьинска 26 октября в 18:57:17 с $M_L = 2.4$. Информация о макросейсмических проявлениях у этих двух землетрясений также отсутствует.

Особого внимания заслуживает землетрясение, произошедшее 4 сентября 2018 г. в 22:58:15 UTC на территории Челябинской области в районе г. Катав-Ивановска (54.809° с.ш. 57.899° в.д.). По факту это событие стало сильнейшим инструментально зафиксированным на Урале землетрясением [2]. Интенсивность толчков в эпицентре I₀ составила 6 баллов по шкале МСК-64. По всему городу местные жители ощущали сильную тряску и дрожь, раскачивалась и перемещалась легкая мебель, падали различные предметы с полок, звенела посуда, в некоторых случаях падали зеркала, подвешенные на стены, люди в панике выбегали на улицу. Для ликвидации последствий землетрясения администрация Челябинской области объявила в Катав-Ивановском муниципальном районе чрезвычайное положение.

Данное землетрясение было зарегистрировано сейсмическими станциями не только Уральского региона, но и всего земного шара. Так, в определении параметров его очага, выполненном Европейско-Средиземноморским сейсмологическим центром (EMSC), использованы сейсмограммы более чем 600 сейсмических станций.

Наиболее удаленными от эпицентра населенными пунктами, где ощущалось землетрясение, стали города Пермь и Екатеринбург, Магнитогорск и Челябинск, поселки на границе республик Башкортостан и Татарстан. Предварительная карта макросейсмического поля главного толчка Катав-Ивановского землетрясения представлена на

рисунке 2. Данные о конфигурации макросейсмического поля были использованы для уточнения координат очага и его глубины.

Данное землетрясение имело несколько афтершоков с макросейсмическими проявлениями 4-5 балла: 05 сентября 2018 г. 07:27:20 UTC, M_L =3.9; 29 сентября 2018 г. 09:06:52 UTC, M_L =4.1; 15 ноября 2018 г. 07:48:25 UTC, M_L =3.9. Всего до конца 2018 г. на региональных расстояниях (>200 км) зарегистрирован 21 афтершок с магнитудами M_L от 1.9 до 3.4. Количество более слабых (M_L <1.9) составляет сотни, и они требуют дополнительной обработки.



Рис. 2. Карта макросейсмического поля землетрясения 4 сентября 2018 года в 22:58:15 в районе города Катав-Ивановска

Результаты

В результате проведения мониторинговых наблюдений накоплен большой объем информации по особенностям проявления тектонических и техногенных сейсмических процессов на территории Уральского региона. Составлен каталог региональных землетрясений, в который вошло порядка 300 сейсмических событий с локальными магнитудами от 1.3 до 5.4. Очаги землетрясений территориально относятся как к Пермскому краю, так и к прилегающим регионам. В целом сейсмичность Уральского региона в 2018 г. можно охарактеризовать как относительно спокойную. Самым значительным стало землетрясение в районе г. Катав-Ивановск (Челябинская область) с M_L 5.4, для которого были детально изучены параметры очага, собран значительный объем макросейсмических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Обзор сейсмичности Уральского региона за 2017 год / Гусева Н. С. [и др.] // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник науч. материалов. Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2018. С. 63-65.
- 2. Годзиковская А. А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времен по 2002 г. (Сопутствующие первичные материалы). М. : ИФЗ РАН, 2016. 258 с.
- 3. Наведенная сейсмичность. М. : Наука, 1994. 222 с.

INSTRUMENTAL SEISMIC OBSERVATION DATA OF THE URAL REGION IN 2018

¹Natalia S. Guseva, ^{1,2}Inga V. Golubeva, ^{1,2}Maria A. Belevskaya, Denis Y. Shulakov, ^{1,2}Anastasia S. Zvereva, ^{1,2}Filipp G.Verkholantsev, ^{1,2}Julia V. Varlashova, ¹Tatiana V.Zlobina ¹«MI UB RAS», Perm, ²GS RAS, Perm natali.guseva.2010@mail.ru

Summary. The main results of monitoring and analysis of seismic data of Ural Region in 2018 are given. Seismic events of Perm, Sverdlovsk and Chelyabinsk region are considered separately. The macroseismic map of the Katav-Ivanovsk earthquake (Chelyabinsk region) on September 4, 2018 with a magnitude 5.4, the strongest instrumentally recorded in the Urals, is presented. **Key word:** Seismological observation, Ural region, earthquake, Ural seismic network.

УДК 550.83 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАНТ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ИЛЬИНЕЦКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ

Дубовенко Юрий Иванович ИГФ НАН Украины, г. Киев, Украина yuriiguy@gmail.com

Аннотация. Обобщены материалы геологического строения и геофизической изученности Ильинецкой кольцевой структуры Украинского щита. Осуществлено моделирование поля силы тяжести и его трансформант по данной структуре. Результаты моделирования свидетельствуют о периодическом волнообразном характере деструкции пород структуры. Подтверждена импактная гипотеза ее генезиса.

Ключевые слова: импакт, сила тяжести, горизонтальный градиент, моделирование, трансформанты поля.

Ильинецкая структура расположена в 10 км к западу от поселка Ильинцы Винницкой обл. в долине р. Сибок, Волынско-Подольский кристаллический массив. До 1970-х гг. ее считали силур-девонским вулканом. Позже в породах обнаружили признаки ударного метаморфизма, ее отнесли к астроблемам [1-6]. В 1979 г. Правобережная геологическая экспедиция здесь обнаружила характерные для метеоритных кратеров лонсдейлитсодержащие алмазы. Идея импактного генезиса закреплена в [2], [4].

Структура, благодаря обнажениям (6 шт.) и скважинам (55 шт.), является полигоном для изучения ударного метаморфизма минералов и образования кратеров. Но половина скважин не достигли кристаллического цоколя, остановились в коре. Поэтому западная часть структуры не изучена, достоверность построений структур взрыва и центрального поднятия низкая. В 2010 г. на структуре пройдены 3 скважины (от 121.1 до 140.3 м) и площадная магниторазведка 50×50 м, уточнено геологическое строение и генезис Ильинецкой структуры. Доминирует взгляд о ее импактном происхождении [7], но не изучены пределы скрытых комплексов пород и возможный механизм образования. Данное исследование уточняет достоверность найденных предшественниками построений [1-7].

Геофизическое строение. Геолого-геофизические особенности Ильинецкой структуры и соответствующие карты подробно описаны в [7], поэтому мы дадим минимально необходимое описание. В гравитационном поле Ильинецкая структура имеет минимум амплитудой 6.5 мГал овальной формы размером 6×7 км северо-западного простирания. Минимум превышает площадь распространения импактитов и обусловлен влиянием зоны трещиноватых катаклазированных пород кристаллического фундамента. На карте горизонтального градиента силы тяжести минимум имеет концентрически-зональное строение, 2-5 рядов концентрических цепочек или фрагментов зон малых значений (20-40 E). Как показало моделирование, они образованы за счет наложенного гравитирующего эффекта от дополнительного разуплотнения кристаллических пород в тектонических зонах кольцевого закладки. Ряд индикаторов указывает на существенную асимметрию особенностей ее строения и внутреннюю структурную неоднородность [7].

Магнитное поле структуры спокойное, отрицательное (-400÷-600 нТл). Внешний контур структуры в нем не проявляется, в центральной части есть ряд локальных минимумов, из которых выделяются 2 интенсивных экстремума амплитудой 1000 и 700 нТл. Они образуют двугорбую отрицательную аномалию 350×150 м, которая совпадает с интенсивным локальным минимумом силы тяжести. Этот сверхвысокоградиентный магнитный минимум уникальный для импактов мира.

Геологическое строение. Ильинецкий кратер – древнейший эродированный на Украинском щите. Размер его ~4×5.5 км, диаметр зоны дробленых пород ~ 7 км. В разрезе выделяют 4 породных комплекса: цокольный, коптогенный и комплексы заполнения и перекрытия.

В дне кратера расположены породы цокольного комплекса (аутигенная, несмещенная взрывом брекчия из архей-раннепротерозойских пород того же состава, что в кайме структуры). С глубиной признаки ударного метаморфизма затухают.

Коптогенный (создан взрывом) комплекс состоит из аллогенной (смещенной) брекчии, которая залегает на аутигенных (автохтонных) породах, и импактитов. Импактиты завершают вверху коптогенный комплекс и, в зависимости от содержания стекла, делятся на зювиты (стекла 10-75 %) и тагамиты (плотные крепкие породы с содержанием стекла до 90 % – одинокие различно ориентированные линзы мощностью 0.04-46.4 м) на участках, приближенных к контакту с брекчированным фундаментом). Среди этих пород преобладает аллогенная брекчия.

Дно структуры проходит между аутигенной и аллогенной брекчиями, имеет овальную форму блюдца, со штокоподобным центральным поднятием высотой ~ 70 м и диаметром ~ 500 м (признак метеоритных кратеров). Вокруг центрального поднятия – периферическая кольцевая депрессия шириной 300-400 м, глубиной 50-80 м. Другая депрессия простирается в широтном направлении от центрального поднятия к востоку (глубина 30-70 м, ширина 300-600 м). Поднятие 200×400 м и высотой 30-40 м на восто-ке структуры коррелируется с углублением дна широтной впадины. Особенность всей структуры – субгоризонтальный пласт тагамита мощностью 35 м в южной части.

Породы коптогенного комплекса перекрыты линзами девонских аргиллитов и делювием (сцементированная выветрелая масса дезинтегрованных зювитов, обломков аргиллитов, брекчированных пород фундамента). Одна из линз аргиллитов длиной 3.7 км ориентирована широтно и заполняет древнюю впадину. К востоку от центрального поднятия девонские аргиллиты перекрыты зювитовым делювием и глинами (мощность до 50 м) карбонового возраста. Эти породы составляют комплекс заполнения, его максимальная мощность ~ 162 м.

Над комплексом заполнения залегают неогеновые вторичные каолины, глины,

пески и четвертичные отложения. Средняя мощность комплекса перекрытия на водоразделе (центр структуры) ~ 13 м, в долине р. Сибок – 0-3 м.

Цокольный комплекс брекчированных пород в пределах современного эрозионного среза имеет площадь ~ 6×4.5 км, ширину от границ импактитов ~1-1.7 км, овальную форму, простирание на северо-восток. Породно-минеральный состав аутигенной брекчии соответствует составу подстилающих пород фундамента и описан в [7]. Переход между породами и брекчией постепенный.

Глубина ударного разуплотнения пород фундамента под Ильинецкой структурой на уровне современного эрозионного среза ~1 км, при падении метеорита ~2 км. Эти данные совпадают с результатами нашего моделирования.

Коптогенный комплекс Ильинецкой структуры образует кольцевую линзу сложного строения и морфологии поверхности и дна (аллогенная брекчия, зювиты и тагамиты). Аллогенная брекчия залегает с постепенным переходом на аутигенной брекчии и заполняет кольцевой желоб диаметром ~4 км. Состав брекчии: обломки пород – 50-90 %, обломки минералов – 15-50 %, стекло – 0-7 %. Среди обломков пород преобладают граниты, гнейсы, кристаллосланцы, амфиболиты, включение алевролитов и песчаников, есть глыбы алевролитов до 18 м.

Границы распространения аллогенной брекчии соответствуют границам Ильинецкой структуры. Через постепенные переходы с соседями по разрезу и описания скважин в терминологии вулканитов средняя мощность аллогенной брекчии неопределенная, ориентировочно ~10-20 м.

Вверх по разрезу размер обломков в брекчии постепенно уменьшается, появляются зювиты – крепкие породы брекчиевой структуры, пористые, кавернозные, с осколками стекла. В обнажениях зювиты трещиноватые и горизонтально-плитчатые. Обломки доимпактных аргиллитов в шлифах имеют размеры до 2 см, округлую и овальную форму, цвет от темно-серого до темно-коричневого, волнистую текстуру.

Содержание стекла в зювитах ~10-45 % в нижнем горизонте, ~60-75 % в верхнем. По [2], импульсное давление преобразований минералов составило ~40-50 ГПа, шоковые температуры ~1500 °C. Все минералы содержат признаки ударного метаморфизма [2]. Ориентация углов между полюсами планарного элемента и оптической осью кварца свидетельствуют об ударе при пиковом давлении 16-20 ГПа. Наше моделирование подтверждает эту величину.

Главные отличия зювитов от их вулканических аналогов (туфа, туфобрекчий) – признаки ударного метаморфизма, находки лонсдейлитсодержащих алмазов. Максимальная мощность линзы зювитов в центре структуры ~100 м, средняя ~30-50 м.

Тагамиты – крепкие стекловидные массивные породы черного цвета, при выветривании коричнево-бурые, 90 % содержания стекла, афанитовой структуры. По мощности делятся на 3 группы: 2-50 см; 5-13 м; 30-35 м. Причина дискретности неизвестна. Тагамиты распространены на 3 участках структуры: центр (на склонах поднятия), восток (среди зювитов восточной депрессии с аргиллитами), юг. В центре линзы тагамитов круто падают, на востоке имеют овальные линзы, на юге образуют субгоризонтальное пластовое тело. Наши вычисления подтверждают эти данные. Пласт имеет 2 блока, восточный поднят относительно западного (на 20 м на севере, на 40 м на юге), западная «клавиша» имеет уклон на юго-восток, восточная – на север. Границы «тагамитовой плиты» не изучены. Согласно модели, они резкие, ограничены разломами. Части плиты неоднократно двигались вертикально в эпохи поздних тектонических активизаций. Плита является фрагментом кольцевой линзы вокруг центрального поднятия.

Интерпретация геофизических полей. Результаты интерпретации отдельных элементов геофизических полей Ильинецкой структуры (Surfer+Voxler) приведены ниже. Согласно представлениям о строении региона и распределения плотностей, мы приняли градиентно-слоистую модель нарастания плотности с глубиной, учитывая наличие зон постоянных значений.

Выделение плотностных неоднородностей в плане в построении модели первого приближения осуществлялось по исходному полю силы тяжести (в редукции Буге) и картам его трансформант, в частности, горизонтального градиента (рис. 1). Трансформанты гравитационного поля подчеркнули особенности наблюдений полей.



Рис. 1. Суперпозиция наблюдаемого поля силы тяжести и модуля его горизонтального градиента

Трансформанта усилила центральную часть аномалии в поле модуля градиента, резче проявились границы центральной части структуры. Если верна метеоритная гипотеза происхождения Ильинецкой структуры, то в картине поля модуля горизонтального градиента (МГГ) в его верхней левой части проявляется овражная аномалия, которая может фиксировать позицию конуса выброса, образованного в результате импактного события (рис. 2).

Эти модели (рис. 2а,б) подчеркивают плавное распределение плотности внутри Ильинецкой структуры. Четкие контуры свидетельствуют об отсутствии в структуре дополнительных дислокаций и нарушений (разломов.). С момента своего образования Ильинецкая структура ведет себя в поле тектонических напряжений как устоявшийся структурный комплекс.

В поле модуля горизонтального градиента (рис. 36) проявилась концентрическая структура. Цвета палитры отображают корреляцию комплексов пород, имеющих сходные физические свойства. Комплекс зювитов (-15.17106 и -35.20147 на шкале) имеет выразительную концентрическую структуру, указывает на *периодический* характер ударного воздействия на породы, подобный взрывной волне.



Рис. 2а. Наблюдаемое поле силы тяжести



Рис. 26. Модуль горизонтального градиента поля силы тяжести



Рис. За. Продленное верх на 1 км наблюденное поле силы тяжести поле модуля его горизонтального градиента

Рис. 36. Продленное верх на 1 км поле модуля горизонтального градиента наблюденного поля силы тяжести

Выводы. Визуализация (рис. 4, 5) 3D моделей поля силы тяжести и модуля его горизонтального градиента фиксирует возможный фронт распространения деструкции пород и зональное расслоение литологических комплексов. Это подтверждает периодический характер взрыва: взрывное действие распространялось как волна, а не как одномоментный импульс.

Эти 2D/3D модели аномальной структуры по гравитационному полю поддерживают мнение об импактном генезисе Ильинецкой структуры. Основная энергия воздействия импактного события пришлась на противоположные грани структуры (северную и западную). Прогноз энергетики события требует дополнительного изучения. Но картина произошедшего по данным моделирования магнитных полей уже далеко не столь однозначна.

Ильинецкая структура имеет длительную (~50 млн. лет) многоэтапную историю развития. Данные петрографии подтверждают ударную природу зювитов и брекчий. Но обогащение импактитов хромитом, химизм тагамитов, палеомагнитные данные и строение дна отрицают импактный генезис Ильинецкой структуры. Перспектива дальней-

ших исследований структуры требует привлечения всего комплекса геофизических методов.



Рис 4. 3D модель поля модуля горизонтального градиента силы тяжести



Рис. 5. 3D модель наблюдаемого поля силы тяжести в редукции Буге

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Вальтер А. А. Астроблемы Украинского щита // Докл. на конф. КАММАК 99, 1999 г., Винница, 2000. 146 с.
- 2. Вальтер А. А., Рябенко В. А. Ильинецкая структура взрывной метеоритный кратер // Геолог. журн. 1976. № 1. С. 42-49.
- 3. Гинтов О. Б., Шевченко Т. П., Голуб В. Н. Об эндогенной природе Ильинецкой структуры // Геолог. журн. 1975. № 1. С. 54-60.
- 4. Гуров Е. П., Гурова Е. П. Геологическое строение и вещественный состав пород импактных структур. Киев : Наукова думка, 1991.
- 5. О природе Ильинецкой кольцевой структуры в свете палеомагнитных данных / Михайлова Н. П. [и др.] // Геолог. журн. 1978. Т. 38. № 5. С. 51-58.
- 6. Никольский А. П. Взрывные метеоритные кратеры Украинского щита вблизи г. Винница // Геолог. журн. 1975. № 4. С. 76-86.
- 7. Геофизические аспекты строения и генезиса Ильинецкой структуры: импакт или вулкан? / Энтин В. А. [и др.] // Геофиз. журн. 2013. № 1. С. 100-113.

MODELING OF THE POTENTIAL FIELDS TRANSFORMANTS FOR THE RING STRUCTURE ILYINETSKA

Yurii I. Dubovenko IGPH NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine yuriiguy@gmail.com

Summary. The materials of the geological structure and geophysical knowledge of the Ilyinetska ring structure on the Ukrainian Shield are summarized. The gravity field and its transformants for this structure are simulated. The simulation results indicate a periodic wavy nature of the destruction of rocks of the structure. The impact hypothesis of its genesis is confirmed. **Key words:** impact, gravity, horizontal gradient, modeling, field transformants.

УДК: 550.835; 550.83.042 ЧЕТДИНСКАЯ ЛОКАЛЬНАЯ РАДОНОВАЯ АНОМАЛИЯ

¹Езимова Юлия Евгеньевна, ²Магомедова Александра Шамильевна, ³Удоратин Валерий Вячеславович Институт геологии Коми НЦ УрО РАН ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар ¹yeezimova@geo.komisc.ru, ²asmagomedova@geo.komisc.ru, ³udoratin@geo.komisc.ru

Аннотация. Представлены результаты радоновой эманационной съемки на территории Вычегодского прогиба в зоне Вычегодского-Локчимского разлома. По данным радиометрических исследований зона разлома отмечается повышенными значениями объемной активности радона. В пределах центрального сегмента Вычегодского-Локчимского разлома выделена область аномально высоких значений радоновой активности. После детальных работ построена схема изолиний радоновой аномалии. По предварительным оценкам, аномалия связывается с областью, где Вычегодско-Локчимский разлом меняет северо-западное направление на широтное. Рекомендуется дальнейшее детальное изучение «Четдинской» аномальной зоны с использованием геофизических и геохимических методов.

Ключевые слова: разлом, объемная активность радона, радоновая аномалия.

Эманационная съемка относится к доступным, экспрессным и дешевым геофизическим методам, используется для поиска радиоактивных руд, залежей углеводородов [2], обнаружения и трассирования тектонических нарушений [4, 5], прогноза сейсмических событий [6] и вулканической активности [7].

Понятием «радон» объединяется группа из 19 изотопов, из которых только три встречаются в природе. Они активно мигрируют в структурах континентальной коры с формированием аномалий в ее приповерхностной зоне [1].

Кроме этого, радон можно рассматривать как глубинный газ, который поднимается по разломам и трещинам. Основным механизмом транспортировки к дневной поверхности выступает поток газов в форме микропузырьков. На глубинах в несколько тысяч километров, согласно современным исследованиям, пузырьки газовтранспортеров (H₂, CO₂, CH₄) обеспечивают основной процесс миграции тяжелых газов [3].

В 2018 г. на территории Вычегодского прогиба проводилась радоновая съемка в пределах Вычегодско-Локчимской разломной зоны (рис. 1). Вычегодско-Локчимский разлом находится в юго-западной части прогиба и является пограничным с Кировско-Кажимским авлакогеном. Разлом северо-западного простирания имеет протяженность 220 км. Эманационные исследования через Вычегодско-Локчимский разлом выполнялись в его северном и центральном участках. Всего было отработано шесть профилей и несколько отдельных пунктов. Северный сегмент разломной зоны по профилям «Студенец» и «Часово» характеризуется значениями радоновой активности 771–1171 Бк/м³. В центральном сегменте отмечаются максимальные значения объемной активности радона (ОАР) по профилям «Позтыкерос», «Мордино», «Четдино», составляющие 1060–2985 Бк/м³. В ходе выполнения исследований в районе с. Четдино отмечаются высокие значения объемной активности радона. В связи с этим нами проведены дополнительные работы с целью локализации радоновой аномалии.



Условные обозначения: 1 – разломы: СК – Сыктывкарский, ВЛ – Вычегодско-Локчимский, ПТ – Притиманский, КТ – Кельтменский, ВШ – Вишерский, ЗТ – Западно-Тиманский; 2 – значения объемной активности радона, Бк/м³; 3 – участок детальных радиометрических работ

Рис. 1. Схема разломной тектоники юга Республики Коми с данными радоновой съемки

Объектом исследования является почвенный воздух в пределах Вычегодско-Локчимской разломной зоны и вблизи нее.

При выполнении в полевых условиях измерений объемной активности радона применяли два измерительных комплекса: портативный радиометр PPA-01M-01 и комплекс «Альфарад плюс», предназначенные для экспрессных измерений объемной активности (ОАП) и плотности потока (ППР) радона-222 в воздухе жилых помещений и на открытом воздухе.

Вблизи предполагаемого эпицентра аномалии устанавливался прибор, где шла непрерывная регистрация объемной активности радона. Измерения выполнялись со скважины диаметром 0.1 м, глубиной 0.75 м. Одновременно регистрировались температура, влажность, давление и гамма-излучение. Замеры осуществлялись непрерывно в течение 4 суток (в период с 8 по11 июня 2018 г.) Средние значения ОАР составляют от 4500 Бк/м³ до 10000 Бк/м³. Они являются высокими и явно обращают на себя внимание.

Дальнейшие детальные радиометрические работы в пределах выявленной «Четдинской» аномалии предусматривали усложнение методики наблюдений. Как и ранее, устанавливался прибор, с помощью которого проводилась непрерывная регистрация ОАР в течение 3 суток (в период с 11 по13 сентября 2018 г.). Одновременно проводились замеры по площади в разные стороны от стационарного прибора с шагом 500– 1000 м. Для повышения точности измерения на отдельных пунктах выполнялись трижды с накоплением в течение одного часа. Средние значения радоновой активности имеют стабильный характер и в данный период составляют 6500 Бк/м³.

В результате построена схема изолиний аномальной радоновой зоны (рис. 2). Аномалия имеет вытянутую форму, располагающуюся по направлению близко к простиранию Вычегодско-Локчимского разлома. Максимальные значения ОАР в центральной части аномальной области достигали 12750 Бк/м³, минимальные – 3300 Бк/м³. Замеры ОАР в воздухе дают значения 35–130 Бк/м³, которые являются также высокими.



Рис. 2. Схема изолиний радоновой аномалии в пределах Зоны Вычегодско-Локчимского разлома (вблизи с. Четдино)

По предварительным оценкам, аномалия связывается с Вычегодско-Локчимским разломом, с областью, где разлом меняет северо-западное направление на широтное. Однако, область проявления разлома по сейсмическим данным, имеющимся лишь для северного сегмента, затрагивает фундамент и низы осадочного чехла, лишь незначительно затрагивая его верхи, не выходя на поверхность. Сейсмических материалов явно недостаточно для детального построения глубинной схемы. Нами рекомендуется дальнейшее детальное изучение «Четдинской» аномальной зоны, используя комплекс геофизических и геохимических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Андреев А. И., Коковкин А. А., Медведева М. Б. Радон как индикатор сейсмогеодинамической активности // Безопасность в техносфере. 2011. № 5. С. 8-13.
- 2. Киляков А. В. История развития эманационных методов и их роль в нефтянной геологии на современном этапе // Известия Саратовского университета Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13. Вып. 2. С. 57-60.
- 3. Отражение геодинамической обстановки северо-западного обрамления Тихого океана в динамике подпочвенного радона в газовом составе теплоносителя Мутновской ГеоЭС / Фирстов П.П. [и др.] // Вулканология и сейсмология. 2015. № 5. С. 1-7.
- 4. Семинский К. Ж., Бобров А. А. Радоновая активность разнотипных разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 881-896.
- 5. Удоратин В. В., Езимова Ю. Е., Магомедова А. Ш. Объемная активность радона в пределах разломных зон Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов // Литосфера. 2017. Т. 17. № 6. С. 136-152.
- 6. Уткин В. И., Юрков А. К. Радон как индикатор геодинамических процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 2. С. 277-286.
- Soil radon measurements as a potential tracer of tectonic and volcanic activity / Neri M. et al. // Scientific reports. (2016) 6. 24581. P. 12. URL: https://www.nature.com/articles/ srep24581

CHETDIN LOCAL RADON ANOMALY

¹Yuliya E. Ezimova, ²Alexandra Sh. Magomedova, ³Valeriy V. Udoratin The Institute of Geology Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences of The Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar ¹veezimova@geo.komisc.ru, ²asmagomedova@geo.komisc.ru, ³udoratin@geo.komisc.ru

Summary. The results of the radon emanation survey on the territory of the Vychegodsky depression in the Vychegodsky-Lokchimsky fault zone are presented. According to radiometric studies, the fault zone is marked by elevated values of the volume radon activity. Within the central segment of the Vychegodsky-Lokchimsky fault, an area of anomalously high values of radon activity was identified. After detailed work, a contour line of radon anomalies was constructed. According to preliminary estimates, the anomaly is associated with the area where the Vychegodsko-Lokchimsky fault changes the northwest direction for the latitudinal one. Further detailed study of the Chetdinskaya anomalous zone is recommended, using geophysical and geochemical methods. **Keywords:** fault, volume radon activity, radon anomaly.

УДК 622.014.2: 550.835.41 «ОNLINE» КОНТРОЛЬ РУД НА СЕРЕБРО И МЕДЬ НА БАЛХАШСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»

¹Ефименко Сергей Анатольевич, ¹Нигматулин Айдар Муратович, ¹Ордубаев ¹Султан Галиевич, ¹Шаханов Амирхан Мухитжанович, ¹Кан Андрей Николаевич, ²Исатаева Фарида Муратовна ¹ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Жезказган, Казахстан, ²Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан serg vef@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованиям с целью организации многокомпонентного «online» контроля руд класса –300 мм, поступающих на переработку на Балхашскую обогатительную фабрику ТОО «Корпорация Казахмыс», по содержаниям основных и сопутствующих (серебро, кадмий) элементов. «Online» контроль организован с помощью энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной (EDXRF) рудоконтролирующей станции (PKC) РЛП–21Т (TOO «Аспап Гео», Алма-Ата). Метод опробования руд – рентгенофлуоресцентный.

Руды, поступающие на переработку на Балхашскую ОФ с шести рудников, характеризуются крайне низкими для рентгенофлуоресцентного метода содержаниями серебра и кадмия (1+ ppm). Кроме руд на переработку поступает отвальный шлак Балхашского медеплавильного завода с многокомпонентной очень сложной матрицей содержаний. Учитывая реальные возможности рентгенофлуоресцентного метода и ограничения к его применению, а также мировой опыт применения РКС в горной промышленности, поставленная задача представлялась трудновыполнимой. Тем не менее, она была успешно решена: РКС РЛП–21Т запущены в эксплуатацию на ленточных конвейерах №2 и №2А Балхашской ОФ.

Обсуждены аппаратурные и методические аспекты при подготовке РКС РЛП–21Т к внедрению, а также результаты производственной апробации РКС в течение семи месяцев.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный метод, Балхашская обогатительная фабрика, рудоконтролирующая станция РЛП–21Т, медь, серебро, тяжелый ленточный конвейер, «online» контроль качества руд.

Для горнодобывающих и перерабатывающих предприятий ТОО «Корпорация приоритетную значимость приобрела Казахмыс» давно задача организации эффективного «online» контроля за элементным и валовым химическим составом медьсодержащих полиметаллических руд, поставляемых горными предприятиями на обогатительные фабрики. В первую очередь в таком контроле заинтересованы шахты и карьеры всех трех производственных площадок корпорации, ибо хотят иметь надежную доказательную базу для отстаивания своих интересов при распределении сливного металла обогатительных фабрик. Причем не только меди – основного профильного металла, но и серебра – основного сопутствующего металла, роль которого весьма благоприятно сказывается на экономике корпорации.

До последнего времени организация «online» контроля над содержаниями серебра в рудах представлялась технически трудно решаемой задачей. Тем не менее, совместными усилиями специалистов Управления инструментальной системы аналитического контроля Департамента контроля качества и ТОО «Аспап Гео» (г. Алма-Ата) в течение 2016–2017 гг. удалось внедрить:

- на шахтах и карьерах энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные (EDXRF) носимые спектрометры РПП–12Т, позволяющие одновременно определять содержания 34 элементов (включая серебро) по стенкам забоев подземных горных выработок и в отбитой горной массе;

- на тяжелых конвейерах жезказганских обогатительных фабрик ЖОФ-1 и ЖОФ-2 три EDXRF рудоконтролирующие станции (РКС) РЛП-21Т, обеспечивающие «online» контроль руд (крупность –300 мм) над содержаниями меди, свинца, цинка, серебра, кадмия и железа на ленточных тяжелых конвейерах ЖОФ-1 и ЖОФ-2.

Содержания серебра определялись от 2+ ppm при среднем уровне содержаний порядка 15 ppm. Следует отметить, что «online» контроль был организован на рудах однотипных месторождений медистых песчаников Жезказган и Жаман-Айбат.

Предметом данной статьи являются исследования, выполненные только с помощью РКС на тяжелых конвейерах обогатительных фабрик. Обоснование выбора именно EDXRF PKC и PKC РЛП–21Т приведены в работе [3].

Но ТОО «Корпорация Казахмыс» – это и месторождения, разрабатываемые горными предприятиями Карагандинской и Балхашской производственных площадок: золото-медно-порфировое месторождение Нурказган (Cu, Au, Ag, Mo, Se, S), колчеданно-медно-свинцово-цинковые месторождения Кусмурын (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd Se, Te, S) и Акбастау (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, S, Te), золото-колчеданно-медно-свинцово-цинковое месторождение Абыз (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, S, Se, Te, Cd, In, Hg), Саякская группа медно-скарновых месторождений (Cu, Mo, Fe, Au, Ag, Co, Bi, Te, Se, Re), медно-порфировое месторождение Шатырколь (Cu, Mo, Au, Ag, Te, Se, U), а также обогатительные фабрики (Балхашская – БОФ, Карагайлинская – КОФ, Нурказганская – НОФ), перерабатывающие эти руды.

Руды упомянутых месторождений характеризуются большим размахом содержаний основных и сопутствующих компонентов, очень низкими (1+ppm) содержаниями Ag и большим количеством технологических сортов руд, то есть являются более сложными объектами для внедрения рентгенофлуоресцентного метода «online» опробования руд на ленточных конвейерах, чем руды однотипных месторождений Жезказган и Жаман-Айбат.

Исследования, обсуждаемые в данной статье, имеют конечной целью внедрение EDXRF PKC РЛП–21Т на тяжелых конвейерах №2 и №2А БОФ и представляют большой научный и производственный интерес, так как на этой фабрике предстояло решить уникальную по сложности (для рентгенофлуоресцентного метода) аналитическую задачу. Столь сложную задачу ранее с помощью EDXRF PKC не решали нигде.

На БОФ поступает руда с рудников Конырат, Саяк (шахты Саяк–1 и Тастау), Шатырколь, Нурказган, Акжал, а также отвальные шлаки Балхашского медеплавильного завода (БМЗ). Это обстоятельство предопределяет следующую цепочку моментов, неблагоприятных для применения рентгенофлуоресцентного метода:

- если руды с месторождений являются гетерогенными объектами, то отвальные шлаки являются фактически гомогенными объектами, и эту разновекторность необходимо учесть в методике измерений; - руды представлены всей палитрой содержаний меди: богатые (Шатырколь), средние (Саяк–1, Тастау, Нурказган), бедные (Конырат) и убогие (Акжал);

- отвальный шлак БМЗ имеет сложную элементную матрицу содержаний: Cu – до 1.15 %, Zn – до 6.0 %, Pb – до 0.70 %, Fe – до 47.0 %;

- список определяемых элементов – Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, а это означает, что РКС должна работать в диапазоне содержаний от 0.0001 % (Ag, Cd) до 47 % (Fe);

- содержания серебра и кадмия необходимо определять от 1+ ppm (с таким низким уровнем содержаний этих элементов никто прежде не работал – это касается как EDXRF PKC, так и PKC, работающих на других методах);

- гранулометрический состав руд на ленточных конвейерах соответствует классу –300 мм, что ранее являлось «стоп краном» к применению EDXRF PKC.

Методика исследований, которая была разработана и апробирована в ЖОФ-1 и ЖОФ-2 [2, 3], нами была сохранена: основной метод исследований рентгенофлуоресцентный; средство исследований – рудоконтролирующая станция; тип РКС – РЛП–21Т (рис. 1А); источник возбуждения – рентгеновская трубка с торцевым выходом излучения вкупе с комбинированными мишенями; детектор излучений кремниевый дрейфовый (SDD) с внутренним коллиматором, который совместно с цифровым сигнальным процессором обеспечивает высокое энергетическим разрешение (130 эВ по линии 5.9 кэВ), высокую интегральную загрузку и отношение пик/фон, что повышает контрастность аналитических линий элементов; учет матричных эффектов производится с использованием фундаментальных алгоритмов (в том числе и для рассеянного излучения), учитывающих изменение геометрических условий измерений при вариациях вещественного состава и плотности анализируемых руд; режим измерений: экспозиция – 1 с; содержания Cu, Pb, Zn и Fe рассчитываются как среднее из 20 единичных измерений, Ag и Cd – как среднее из 40 единичных измерений; учет переменного зазора «руда – датчик» производится с помощью ультразвукового датчика расстояний (основной) и по изменению рассеянного излучения (контрольный); доступ для удаленных пользователей корпорационной сети обеспечивает приложение «РКС-Клиент» [1].

Обеспечение устойчивой работы РКС на рудах с предельно низкими для рентгенофлуоресцентного метода содержаниями серебра и кадмия – это чрезвычайно сложная аппаратурная и методическая задача. Для ее гарантированного решения в РКС РЛП–21Т были установлены: более мощные рентгеновские трубки (за счет этого достигнута существенно более высокая загрузка спектрометрического тракта); кремниевые дрейфовые детекторы (SDD) большой площади (детекторы способны работать при загрузках до 1 Гб/с, что крайне важно, ибо только при таких загрузках РКС РЛП–21Т может работать на рудах с низкими содержаниями меди и серебра); самая современная (высокоскоростная) электроника; коллиматоры (индивидуальные) пучка первичного излучения рентгеновской трубки (в площадь «засветки» поверхности руды на ленте конвейера не должны попадать участки чистой ленты).

Под более сложные аналитические задачи был выполнен цикл исследований, в результате выполнения которого был существенно модернизирован пакет программного обеспечения (ПО) РКС РЛП-21Т. В пакете ПО, в частности, были серьезно усилены фрагменты, отвечающие за: компенсацию учета переменного профиля насыпки руды на ленточный конвейер (переменный зазор «датчик-руда)»; компенсацию влияния матричного эффекта; автоматический выбор уравнений пересчета для каждого поставщика руды на БОФ и другие. Помимо этого, ТОО «Аспап Гео» пришлось отступить от своего базового принципа: объекты «online» контроля разные, типы руд разные, промышленные продукты переработки руд разные градуировка одна, и перейти к пообъектным градуировкам. Выбор нужной градуировки производился автоматически в зависимости от содержаний группы элементов (прежде всего, меди и железа).

Для сокращения времени остановки конвейера для выполнения процедуры проверки работоспособности РКС, в комплект РКС РЛП–21Т введена искусственная контрольная проба, которая надевается на окна рентгеновской трубки и SDD детектора на торцевой части корпуса РКС РЛП–21Т и удерживается магнитами. Содержание элементов в контрольной пробе: Cu – 1.38 %, Ag – 12.0 ppm, Zn – 0.05 %, Pb – 0.20 %, Cd – 1.8 ppm, Fe – 4.65 %.

Перед установкой на конвейеры обе РКС РЛП–21Т прошли обязательный этап стендовых исследований. Объектами исследований были специально подготовленные наборы проб руд с каждого месторождения с известными химическими анализами всех шести элементов. Каждый набор включал три вида проб: порошки, фракция после валковой дробилки (–3 мм), фракция после щековой дробилки (–10 мм). После подвески каждой РКС непосредственно на конвейерах весь цикл исследований на пробах повторялся, но с учетом ограничений по времени остановки конвейеров на исследования.

Обсудим основные результаты исследований.

На БОФ РКС РЛП–21Т были установлены на тяжелых ленточных конвейерах №2 и №2А и введены в эксплуатацию 4 мая 2018 г. (рис. 1).



Галерея с установленными РКС РЛП–21Т Рис. 1. РКС РЛП–21Т на конвейерах № 2 и № 2А Балхашской ОФ

Результаты работы РКС РЛП–21Т на БОФ приведены в таблице 1 (по серебру в августе–октябре расхождения связаны с техническими причинами; они устранены – на это указывают результаты ноября). Расшифровка результатов работы РКС РЛП–21Т за ноябрь 2018 г. по рудникам дана в таблице 2.

С июля 2018 г. пункт вагонного опробования ОТК на дробилке ККД 1500/180 сокращен. По мере набора статистического материала идет уточнение алгоритмов расчета содержаний по некоторым поставщикам руды.

Следует обратить внимание на тот факт, что за 7 месяцев эксплуатации зафиксированные РКС максимальные содержания серебра в одном железнодорожном составе составили 11.5 ppm (Тастау) и 12.3 ppm (отвальный шлак), а минимальные – 1.9 ppm (Коунрад). Это гораздо ниже уровня содержаний серебра в рудах, поступающих на ЖОФ–1 и ЖОФ–2. Более того, впервые в мировой практике EDXRF РКС смогла взять столь низкие содержания серебра на рудах крупностью –300 мм.

Таблица 1

Месяц	ц Медь, %					Серебро, ррт				
2018г.	Слив	РКС	Δ	σ, %	Слив	РКС	Δ	σ, %		
5	0.85	0.85	0	0						
6	0.93	0.93	0	0						
7	0.93	0.95	-0.02	2.15						
8	0.92	0.95	-0.03	3.26	5.33	4.51	0.82	15.38		
9	0.94	0.95	-0.01	1.06	5.35	4.49	0.86	16.07		
10	1.04	1.05	-0.01	0.96	5.53	4.60	0.93	16.82		
11	0.98	0.95	0.03	3.06	4.50	4.34	0.16	3.56		
За год	0.941	0.947	-0.006	0.61	5.18	4.49	0.69	13.38		

Итоги работы РКС РЛП-21Т на БОФ в 2018 году

Таблица 2

Итоги работы РКС РЛП–21Т на БОФ в ноябре 2018 года

Рудник		Мед	ь, %		Серебро, ррт				
	Слив	РКС	Δ	σ, %	Слив	РКС	Δ	σ, %	
Шат.	2.34	2.27	0.07	2.99	3.85	3.70	0.15	3.90	
Саяк	1.04	1.00	0.04	3.85	5.59	5.37	0.22	3.94	
Нурк.	1.05	1.02	0.03	2.86	3.25	3.12	0.13	4.00	
Коныр.	0.28	0.37	0.01	2.63	2.88	2.77	0.11	3.82	
Шлак	0.73	0.72	0.02	2.70	7.88	7.57	0.31	3.93	
Сумма	0.98	0.95	0.03	3.06	4.52	4.34	0.18	3.98	

Выводы.

1. Разработан, всесторонне апробирован и внедрен в производство аппаратурнометодический комплекс «online» контроля над содержаниями основных (Cu, Pb, Zn) и сопутствующих (Ag, Cd) элементов в медьсодержащих полиметаллических рудах, поступающих на Балхашскую ОФ. Основу комплекса составили EDXRF PKC РЛП–21Т.

2. Введены в эксплуатации две РКС РЛП–21Т Балхашской ОФ (тяжелые ленточные конвейеры №2 и №2А). Определяемые элементы: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe.

3. Впервые в Казахстане в масштабах огромного горного предприятия (ТОО «Корпорация Казахмыс») на практике решена задача «online» определения содержаний основных (Cu, Pb, Zn) и, что главное, сопутствующих (Ag, Cd) элементов при низких (1+ ppm) содержаниях Ag и Cd при крупности руд –300мм. Тем самым созданы все условия для управления качеством руд по содержаниям основных и сопутствующих рудных компонентов (серебра, в первую очередь).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Nuclear-geophysical technologies of «on-line» control of the chemical composition of copper-containing polymetallic ores / Nigmatulin A. M. [et al] //Resource and resourcesaving technologies in minerals mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani. Romania: UNIVERSITAS Publishing. 2018. P.162-179.
- 2. Yefimenko S. A., Issatayeva F. M., Zhelayeva N. V. Technologies of «on-line» quality control of ores and their processing products at Kazakhmys corporation LLP // Innovetive development of resource-saving technologies for mining. Multi-Authored monograph. Sofia : Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. P. 245-268.

3. Multicomponent online analysis of coarse ore on conveyors of Kazakhmys LLC processing palnts / Yefimenko S. [et al] // 21th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava : VŠB-TU, 2017. P.245-249.

ONLINE CONTROL OF ORES FOR SILVER AND COPPER AT BALKHASH DRESSING PLANT OF KAZAKHMYS CORPORATION LLP

¹Sergey A. Yefimenko, ¹Aydar M. Nigmatulin, ¹Sultan G. Ordubayev, ¹Amirkhan M. Shahanov, ¹Andrey N. Kan, ²Farida M. Issatayeva ¹Kazakhmys Corporation LLP, Zhezkazgan, Kazakhstan, ²Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan serg_yef@mail.ru

Summary. The article deals with the studies for the purpose of organizing a multicomponent online control of ores of the –300 mm class that are obtained for processing at the Balkhash dressing plant of the Kazakhmys Corporation LLC for the contents of basic and accompanying (silver, cadmium) elements. Online control is organized using an energy dispersive X-ray fluorescent (EDXRF) ore monitoring station (OMS) RLP-21T (Aspap Geo LLC, Alma-Ata). The method of testing ores is X-ray fluorescent.

Ores entering for processing at the Balkhash DP from six mines are characterized by an extremely low for the X-ray fluorescence method content of silver and cadmium (1+ ppm). In addition to ores, waste slag from the Balkhash copper smelter with a multicomponent, very complex matrix of contents is being processed. Considering the real possibilities of the X-ray fluorescent method and the limitations to its use, as well as the world experience of using the OMS in the mining industry, the task posed seemed difficult. Nevertheless, it was successfully resolved: the OMS RLP-21T were put into operation on belt conveyors No. 2 and No. 2A of the Balkhash DP.

The instrumental and methodological aspects have been discussed when preparing the OMS RLP-21T for implementation, as well as the results of the OMS production testing within seven months.

Keywords: X-ray fluorescent method, Balkhash dressing plant, RLP-21T orecontrolling station, copper, silver, heavy belt conveyor, ore quality online control.

УДК 622.831.232 ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ СААМСКОГО РАЗЛОМА

¹Жукова Светлана Александровна, ²Моторин Александр Юрьевич КФ АО «Anamum», г. Кировск ¹szhukova@phosagro.ru, ²AYuMotorin@phosagro.ru

Аннотация. В данной работе приводятся результаты регистрации сейсмических явлений, слоцированных в Хибинском массиве в районе Саамского разлома за пятилетний период геофизического мониторинга, включающие сравнительный анализ данных с применением новых параметров сейсмических событий, введенных в 2012 году. Проанализировано аномальное повышение сейсмической активности в 2017 году. Дана оценка техногенного воздействия на динамику сейсмического режима, а также влияния гидрогеологического фактора в исследуемом районе. Проведен анализ действующих напряжений на основе параметров механизма очага. Выявлена связь роста сейсмичности с увеличением интенсивности взрывных работ, сезонной обводненности горных пород в периоды продолжительных дождей и снеготаяния.

Ключевые слова: взрывные работы, сейсмичность, мониторинг, Саамский разлом, механизм очага, размер очага, частотная характеристика события.

В результате проведения горных работ с момента начала разработок в Хибинском массиве перемещено более 1.5 млрд. м³ горных пород, а сами рудники, как подземные, так и карьеры, настолько сблизились между собой, что образуют практически непрерывное геомеханическое пространство на протяжении более 20 км [5].

В данной работе представлен статистический анализ сейсмических данных, регистрируемых автоматизированной системой контроля состояния массива Кировского рудника (АСКСМ-К) за пятилетний период наблюдений в зоне уверенной регистрации Кировского рудника, а именно в районе Саамского разлома с p24 по p35+24м.

Кировский рудник ведет отработку Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений подземным способом с 1929 года. Добыча руды на рудниках КФ АО «Апатит» в настоящее время обеспечивается за счет интенсификации подземных и открытых работ, это влечет за собой их углубление и, как следствие, рост уровня напряжений и динамических проявлений горного давления [7].



Рис. 1. Тектоническое строение шахтного поля Кировского рудника (Зак С.И., 1964 г). Где: 1 – разломы 3-4 рангов, выявленные по геоморфологическим признакам; 2 - разломы 3-4 рангов внутри блока, фиксируемые в рельефе; 3 - разломы 3-4 ранга, подтвержденные в горных выработках; 4 – разломы 5-6 рангов внутри блоков, по документации горных выработок; 5 – граница обрушения покрывающих пород на поверхности; 6 – контуры дна Саамского карьера

Шахтное поле Кировского рудника разбито на блоки, образуемые разломами: второго ранга Кукисвумчоррским (Ворткеуайвским) и третьего ранга: Саамским, Юкспоррским и Гакманским, которые осложнены разломами четвертого ранга. Саамский разлом является радиальным по отношению к массиву и простирается вкрест структуры месторождения. Он представляет собой неоднородную зону дробления, катаклаза и милонитизации мощностью в пределах карьера от нескольких до 136 м, внутри которой находятся многочисленные блоки, линзы и грубообломочные куски окисленных (шпреуштейнизированных) вмещающих горных пород. По падению разлом прослежен в карьере и в подземных выработках Кировского рудника более чем на 200 м (рис. 1) [3, 5, 6].

Анализ данных сейсмического мониторинга

Для анализа сейсмической информации применены данные, получаемые с 2012 г., с момента завершения работ по АСКСМ-К: на замену технически устаревшего, выработавшего свой ресурс оборудования венгерской фирмы Geos kft (LTD) ввели телеметрическую систему сбора производства НПО «Системотехника» (г. Иваново). Благодаря этому стало возможным получать качественно новую информацию о частотных характеристиках, механизме очага и других значимых параметрах сейсмических событий, что позволяет судить о действующих напряжениях в массиве.

С 2012 г. на участке влияния Саамского разлома АСКСМ-К было зарегистрировано более 1200 сейсмических событий в энергетическом диапазоне $10^3 \div 10^8$ Дж. Из графиков (рис. 2) видно, что с 2012 г. наблюдается устойчивый рост суммарной энергии сейсмических событий. Всплески сейсмоактивности отмечаются в 2013, 2015 и 2017 годах. За 9 месяцев 2017 г. уровень количества сейсмических событий превышает уровень предыдущих лет. В то же время, средняя энергия сейсмических событий в 2017 г. снизилась по сравнению с 2016 годом.



Рис. 2. Динамика сейсмической активности в районе Саамского разлома

Ниже представлены временные ряды распределения энергетических классов сейсмических событий за пятилетний период мониторинга исследуемого района (рис. 3). За последние 3 года увеличилось количество сейсмических событий 6 и 7 классов.



Рис. 3. Гистограмма распределения количества сейсмических событий по энергетическому классу за пять лет мониторинга

Наиболее сейсмически активным является период с июня по сентябрь. Одной из причин является сезонное увеличение объема водопритока, связанного со снеготаянием весной и интенсивными дождями летом и осенью [2]. На рис. 4 показана диаграмма вариаций выделения сейсмической энергии с изменениями водопритока.



Рис. 4. Зависимость суммарной энергии сейсмических событий от водопритока

Рост сейсмической активности также связан с увеличением темпов ведения горных работ, а именно взрывных работ при проходке горных выработок под Саамским карьером и вблизи него. Наибольший рост количества событий происходит вследствие отклика тектонических нарушений в данном районе на взрывные работы, производимые в непосредственной близости от них (рис. 5).



Рис. 5. Карты эпицентров сейсмических событий и технологических взрывов. Проекция на совмещенный план Саамского карьера, отм.+260 м

Отчетливо прослеживается влияние горных работ на геодинамическую обстановку. Наблюдается ежегодная миграция сейсмичности в районы ведения работ по проходке выработок.

Для более подробного изучения процессов, происходящих в массиве, были проанализированы механизмы очагов всех сейсмических событий 6 и 7 классов с 2012 г. Всего за пятилетний период зарегистрировано 18 сейсмических событий. Большинство из них имеет механизм очага типа «взрез-поддвиг» [1, 4].

На рисунке 6 показано распределение сейсмических событий с определенным типом механизма очага. Проанализировав данные об ориентации осей сжатия, можно заключить, что вблизи разлома под карьером их азимут составляет около 90°, а направление подвижек носит сдвиговый характер. В то же время в западной части ветвей раз-

лома их азимут изменяется. Также изменяется и азимут осей сжатия вблизи Юкспорского крыла Кировского рудника. Полученные данные показывают сложный, неустойчивый из-за действия вышеперечисленных факторов, характер действующих напряжений в области разлома, а также на его ветвях.



Рис. 6. Карта распределения сейсмических событий с определенным типом механизма очага, 2012-2017 гг.

Таким образом, динамика сейсмичности массива в районе Саамского разлома изменяется под действием различных факторов: геологического, гидрологического и техногенного. Наибольшее количество сейсмических событий зарегистрировано в тех зонах, где происходит увеличение темпов взрывных работ, особенно вблизи разломов, а также в периоды обильных водопритоков. Эти факторы способствуют развитию трещиноватости, влагонасыщению массива, в том числе зон, заполненных шпреуштейнизированными породами, что приводит к ослаблению межблоковых связей массива, увеличению давления в порах и трещинах, что в целом приводит к изменению геодинамической обстановки и росту сейсмичности [6]. Механизм очага сейсмических событий 6 и 7 классов говорит о преобладании горизонтальных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Воронина Е. В. Механика очага землетрясения. М. : Физический факультет МГУ, 2004. 92 с.
- 2. Жукова С. А. Оценка влияния обводненности горных пород на проявление техногенной сейсмичности при отработке месторождений Хибинского массива : дис. ... канд. тех. наук. Апатиты, 2016. 179 с.
- 3. Зак С. И., Каменев Е. А. Новые данные по геологии Хибинского щелочного массива // Советский геолог. 1964. №7.

- 4. Касахара К. Механика землетрясений. М. : Мир, 1985. 264 с.
- 5. Саамский разлом (Хибины) аномальный характер современных деформаций / Козырев А. А. [и др.] // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 4. С. 30-46.
- 6. Козырев А. А., Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В. Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ в высоконапряженных скальных массивах // LAP Lambert Academic Publishing, 2016. 152 с.
- Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения) (Акционерное общество «Апатит») // Апатиты : Горный институт КНЦ РАН, АО «Апатит», 2016. 112 с.

SEISMICITY DYNAMICS AT THE SAAMSKY FAULT AREA

¹Svetlana A. Zhukova, ²Aleksandr Y. Motorin Kirovsk branch of JSC «Apatit» ¹szhukova@phosagro.ru, ²AYuMotorin@phosagro.ru

Summary. This article describes the results of seismic events registration, collected at the Saamsky fault area (Khibiny massif) for a five-years geophysical observation period, includes comparative analysis of data using new seismical events parameters, added in 2012. Anomalous increase in seismic activity in 2017 was analyzed. An assessment of the anthropogenic impact on the dynamics of the seismicity, as well as the influence of the hydrogeological factor in the study area, is given. Analysis of current stress state, based on focal mechanism parameters, is carried out. The relationship between the increase of seismicity and the increase in the intensity of blasting, the seasonal watering of rocks during periods of prolonged rain and snowmelt has been revealed. **Keywords:** explosive works, seismicity, monitoring, Sami fault, source mech-

anism, source size, event frequency response.

УДК 550.34.09

ОЦЕНКА ЗАТУХАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Зверева Анастасия Сергеевна ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь voitova.as@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены вопросы возникновения и развития опасных эндогенных процессов в южных регионах России. По результатам анализа первичных данных сети сейсмологических наблюдений выполнены оценки добротности слоистой геофизической среды по записям поперечных кода-волн локальных землетрясений.

Ключевые слова: сейсмичность Северного Кавказа, объемные волны, затухание, добротность среды, поглощение, сейсмологический мониторинг, сейсмические события.

Территория Северного Кавказа, являясь в пределах протяженной Крым-Кавказ-Копетдагской зоны Иран-Кавказ-Анатолийского сейсмоактивного региона, характеризуется самой высокой сейсмической опасностью в европейской части России. Известны и активные вулканические центры на Северном Кавказе, крупнейший и наиболее молодой из которых – Эльбрусский [7, 11]. Геолого-геофизические исследования вулкана Эльбрус свидетельствуют о существовании элементов магматической питающей системы, в настоящее время находящихся в частично расплавленном состоянии [4, 5], оказывающих влияние на условия распространения сейсмических волн [6].

В соответствии с картой «Общего сейсмического районирования Северной Евразии» (ОСР-97), оценка сейсмического потенциала исследуемой территории соответствует в основном 8-9 балльным зонам интенсивности сотрясений (на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64). Высокий сейсмический потенциал сопряжен с возможностью развития природно-техногенных катастроф и сопутствующими рисками социально-экономического характера на урбанизированных территориях. В этой связи важными и актуальными представляются вопросы изучения спектральных и динамических параметров очагов землетрясений с целью уточнения особенностей глубинного строения геофизической среды [7].

Одной из наиболее информативных характеристик среды, дающей представление о физических свойствах глубинных структур, является сейсмическая добротность, Q(f). Оценка этого безразмерного параметра, характеризующего затухание сейсмической энергии при распространении упругих колебаний в геологической среде, возможна посредством анализа сейсмограмм местных землетрясений.

В практике сейсмологических исследований добротность необходима для приведения станционного спектра землетрясения к очаговому, используется при расчете сейсмической энергии, сейсмических моментов и иных очаговых параметров землетрясений, для моделирования возможных сильных движений грунта, построения искусственных сейсмограмм, макросейсмических исследований.

Для исследуемого региона нами были выполнены оценки значений добротности и поглощения с целью уточнения особенностей глубинного строения геофизической среды и выявления потенциальных низкоскоростных неоднородностей земной коры [2, 3].

Исходными данными для оценки добротности и поглощения являются волновые формы (сейсмограммы) землетрясений, зарегистрированных в 2013-2018 гг. по результатам инструментальных наблюдений сети сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН. Таким образом, из каталога землетрясений Северо-Западного Кавказа нами было отобрано 240 событий со значениями соотношения сигнал/шум более трех; все они – верхнекоровые (глубина очага – менее 40 км) с гипоцентральными расстояниями до 100 км и значениями локальных магнитуд ML = 1.6-5.5. Расположение сейсмических станций, для окрестностей которых определялись значения добротности и поглощения, показано на рис. 1.

Для оценки добротности использовались методы, в основе которых лежит принцип подавления эффектов источника излучения и локальных эффектов в спектрах поперечных волн с помощью кода-волн, измеренных на фиксированном интервале времени с момента первого вступления [10, 12]. Расчеты проводились в программном комплексе SAC 2000, а также с использованием алгоритмов CODA Q [9].

Расчет добротности Qc выполнен для трех сейсмических станций: «Гузерипль» (GUZR), «Домбай» (DOM) и «Нейтрино» (NEY). Последняя размещена на базе Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, расположенной в непосредственной близости от вулканической постройки Эльбруса, в подземных сооружениях Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН.

ХХ Уральская молодежная научная школа по геофизике



^{39 30} 40 00 40 30 41 00 41 30 41 30 42 00 42 30 43 00 43 30 Рис. 1. Карта расположения сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН на Северном Кавказе и в Эльбрусской вулканической области. 1 – расположение и индексы сейсмических станций; 2 – вулкан Эльбрус. Индексы сейсмостанций: GUZR – «Гузерипль», DOM – «Домбай», NEY – «Нейтрино», RPOR – «Красная Поляна», SHA – «Шиджатмаз», ARH – «Архыз», SOC – «Сочи», KIV – «Кисловодск»

Наблюдаемые вариации значений добротности для трех сейсмостанций связаны с условиями расположения сейсмических станций и естественно отражают латеральные изменения упругих свойств геологической среды.

Известно [13], что значение добротности, полученное для трассы «источник – приемник», характеризует некоторый объем среды (эллипсоид), в фокусах которого находятся очаг землетрясения и сейсмическая станция, для которого:

a =
$$\frac{VW}{2}$$
; b = $\sqrt{\left(\frac{VW}{2}\right)^2 - \frac{r^2}{4}}$; c = h + $\sqrt{\left(\frac{VW}{2}\right)^2 - \frac{r^2}{4}}$

где а и b – длины полуосей эллипсоида, с – глубина нижней границы эллипсоида, V – скорость объемных волн, r – расстояние источник-приемник, h – глубина очага землетрясения, W – длина временного окна.

В таблице 1. представлены средние значения Qc. Результаты оценки добротности для станции GUZR были получены ранее [2]. Средние значения Qc были рассчитаны на центральных частотах 1.5, 2.75, 4.5, 6.75, 9.5 и 12.75 Гц для всех временных окон W.

Представляется возможным оценить изменения добротности с глубиной, при этом размеры исследуемой области зависят как от длины временного окна W («окна коды»), так и от эпицентрального расстояния [1, 13]. Увеличение W позволяет оценить поглощающие свойства более глубоких слоев земной коры и наоборот. Таким образом, для каждого из используемых значений W рассчитаны эмпирические зависимости добротности от частоты Q(f) (таблица 2). По возможности проведено сопоставление полученных результатов с данными других авторов [3, 8, 9].

Таблица 1

Значения добротности Q_{c} , на частоте 1 Гц, стандартного среднеквадратического отклонения σ и количества событий N, по которым проводился расчет, для трех сейсмических станций, а также средние значения по трем станциям

		DOM		NEY			GUZR			Среднее			
W, c	(1	.0-11.0	Гц)	(1.0-14.5 Гц)			(1.0-14.5 Гц)			(1.0-14.5 Гц)			
	Q_c	σ	N	Q_c	σ	N	Q_c	σ	N	Q_c	σ	N	
20	20	7	49	47	15	33	33	12	108	31	17	121	
30	29	10	47	61	13	33	49	20	106	45	27	121	
40	36	13	44	77	19	31	59	18	99	55	29	121	
50	46	21	43	93	25	28	69	24	89	59	26	121	
60	56	27	41	105	23	23	80	22	75	68	28	121	
70	67	30	38	119	28	22	93	32	70	90	40	121	
80	75	36	36	123	21	22	107	50	69	101	44	121	
90	83	38	35	133	24	21	125	117	57	115	70	121	

Таблица 2

Эмпирическая функциональная зависимость добротности Qc от центральной частоты f для всех временных окон

<i>W</i> , c	DOM	NEY	GUZR	Среднее	MAK	SOC	ANN	KIV
					[7]	[11]	[11]	[12]
20	$20 \cdot f^{1.10}$	$47 \cdot f^{1.04}$	$33 \cdot f^{1.00}$	$31 \cdot f^{1.05}$	$42 \cdot f^{1.10}$	-	-	-
30	$29 \cdot f^{1.07}$	$61 \cdot f^{1.02}$	$49 \cdot f^{0.94}$	$45 \cdot f^{1.01}$	$53 \cdot f^{1.14}$	-	-	-
40	$36 \cdot f^{1.07}$	$77 \cdot f^{0.95}$	$59 \cdot f^{0.94}$	$55 \cdot f^{0.99}$	$63 \cdot f^{1.11}$	$55 \cdot f^{0.9}$	$90 \cdot f^{0.7}$	$85 \cdot f^{0.9}$
50	$46 \cdot f^{1.08}$	$93 \cdot f^{0.90}$	$69 \cdot f^{0.93}$	$59 \cdot f^{1.00}$	$75 \cdot f^{1.10}$	-	-	-
60	$56 \cdot f^{1.10}$	$105 \cdot f^{0.87}$	$80 \cdot f^{0.92}$	$68 \cdot f^{0.99}$	$89 \cdot f^{1.02}$	-	-	-
70	$67 \cdot f^{1.10}$	$119 \cdot f^{0.83}$	$93 \cdot f^{0.90}$	$90 \cdot f^{0.92}$	$95 \cdot f^{1.03}$	-	-	-
80	$75 \cdot f^{1.13}$	$123 \cdot f^{0.85}$	$107 \cdot f^{0.89}$	$101 \cdot f^{0.93}$	$109 \cdot f^{1.00}$	-	-	-
90	$83 \cdot f^{1.16}$	$133 \cdot f^{0.84}$	$125 \cdot f^{0.85}$	$114 \cdot f^{0.91}$	$116 \cdot f^{1.01}$	-	-	-

Индексы сейсмостанций: GUZR – «Гузерипль», DOM – «Домбай», NEY – «Нейтрино», MAK – «Махачкала», SOC – «Сочи», ANN – «Анапа», KIV – «Кисловодск».

Отметим, что с увеличением W возрастают и значения Q(f). Так, для окна 70-90 с, зависимость Q(f) становится близкой для всех событий, кроме результатов по станции «Домбай», для которой наблюдаются пониженные значения добротности.

Также для исследуемой области были оценены средние значения коэффициентов затухания сейсмических волн:

$$\delta = \frac{\pi f}{V Q_c},$$

где f – частота, Qc – добротность на частоте f.

Результаты сведены в таблицу 3.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента затухания для частоты $f = 1.5 \Gamma \mu$ от глубины залегания нижней границы эллипсоида с. Экспоненциальный характер $\delta(c)$ позволяет сделать вывод о различиях в скорости изменения коэффициента затухания, большей у нижней границы коры и уменьшающейся с глубиной.
Таблица 3

W	а	b	С	δ	σ
20	51	46	57	0.031557	0.01123
30	59	55	66	0.022941	0.008134
40	68	65	76	0.018493	0.006592
50	77	74	85	0.015406	0.004901
60	86	83	94	0.013063	0.003815
70	95	92	103	0.011325	0.003336
80	103	101	112	0.010079	0.002555
90	112	110	121	0.009096	0.002079

Средние коэффициенты затухания сейсмических волн б исследуемого региона для различных временных окон W



Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания (δ) от глубины залегания нижней границы эллипсоида (C)

Таким образом, изучение условий распространения сейсмических колебаний в слоистой геофизической среде и оценка изменений значений добротности и затухания позволяют предположить наличие крупных неоднородных структур на территории, охваченной системой сейсмологических наблюдений. На примере Эльбрусской вулканической области и сопредельных территорий рассчитаны значения добротности среды для трех региональных сейсмостанций, определены коэффициенты затухания. На основе полученных данных можно сделать вывод в пользу подтверждения гипотезы о вероятном районе проявления опасных эндогенных процессов на исследуемой территории.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИФЗ РАН и гранта Президента Российской федерации для поддержки научных школ (НШ 5545.2018.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Добрынина А. А., Чечельницкий В. В., Саньков В. А. Сейсмическая добротность литосферы юго-западного фланга байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 5. С. 712-724.
- Зверева А. С., Бутырин П. Г. Оценка зависимости добротности среды от частоты в земной коре территории Западного Кавказа по данным сейсмической станции «Гузерипль» // Материалы XIII Международной сейсмологической школы. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 108-111.

- 3. Кромский С. Д., Павленко О. В., Габсатарова И. П. Проявления особенностей излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе в кодаволнах региональных землетрясений // Физика Земли. 2018. №2. С. 33-44.
- 4. Исследование глубинного строения вулкана Эльбрус методом микросейсмического зондирования/ Лиходеев Д. В. [и др.] // Вулканология и сейсмология. 2017. № 6. С. 28-32.
- 5. Лиходеев Д. В., Михаленко В. Н. Температура кровли магматической камеры вулкана Эльбрус // Геофизические исследования. 2012. Т. 13. № 4. С. 70-75.
- 6. Развитие системы разномасштабного сейсмического мониторинга в районе вулкана Эльбрус / Маловичко А.А. [и др.] // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 4. С. 47-57.
- 7. Масуренков Ю. П., Собисевич А. Л. Пульсационно-вихревое развитие Эльбрусской вулканической области (как следствие миграции мантийного плюма?) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 432. № 1. С. 105-109.
- 8. Павленко В. А., Павленко О. В. Поглощение сейсмических волн в коре и верхней мантии в окрестностях сейсмостанции «Кисловодск» // Физика Земли. 2016. № 4. С. 24-34.
- 9. Изучение поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии Восточного Предкавказья / Пономарева Н.Л. [и др.] // Материалы XII Международной сейсмологической школы. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 279-283.
- 10. Раутиан Т. Г., Халтурин М. С., Закиров М. С. Экспериментальные исследования сейсмической коды. М. : Наука, 1981. 146 с.
- 11. Эндогенные опасности Большого Кавказа / Рогожин Е.А. [и др.]. М. : ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
- Aki K., Chouet B. Origin of coda-waves: source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. N 1. P. 3322-3342.
- Imtiyaz A. Parvez, Anup K. Sutar and oth. Coda Q Estimates in the Andaman Islands Using Local Earthquakes // Pure and Applied Geophysics. Birkha⁻⁻user Verlag, Basel, 2008. № 165. P. 1861-1878.

ATTENUATION OF SEISMIC WAVES IN THE LITHOSPHERE OF THE WEST CAUCASUS

Anastasia S. Zvereva GS RAS, Perm voitova.as@gmail.com

Summary. The features of occurrence and development of dangerous endogenous processes in the southern regions of Russia are considered. The seismic quality factor (Qc), in the lithosphere of the northern part of the Western Caucasus are obtained from records of S coda according to the data of the network of seismological observations.

Key words: seismicity of the Northern Caucasus, body waves, attenuation, quality factor Q, absorption, seismological monitoring, seismic events.

УДК 550.34.016 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНЫХ КАМЕР НА ПРОЯВЛЕНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Злобина Татьяна Викторовна «ГИ УрО РАН», г. Пермь tati.verkholantseva@gmail.com

Аннотация. Микросейсмическая активность, наблюдаемая на калийных рудниках Верхнекамского месторождения, обусловлена преимущественно наличием незаложенных горных выработок, а вариации сейсмичности связаны с изменением горнотехнических параметров отработки. Одним из основных динамических процессов в калийных рудниках является обрушение пород кровли. Такие события связаны с параметрами очистной выработки: шириной и высотой. За период с 2010 по 2014 г. было зарегистрировано более 300 событий типа «обрушения». Для таких событий была выявлена зависимость геометрических параметров камеры от зарегистрированной микросейсмической активности.

Ключевые слова: калийный рудник, система отработки, ширина и высота камеры, сейсмологический мониторинг, сейсмические событий, обрушения, микросейсмическая активность.

Сейсмологический мониторинг на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) проводится с 1995 года. Эти наблюдения дают большое количество информации о процессах деформирования и разрушения подработанного массива, об их пространственно-временных закономерностях, о факторах, влияющих на характер их протекания. Всего на рудниках ВКМКС в период с 1995 до начала 2017 г. зафиксировано более 12 тысяч сейсмических событий различной природы.

Верхнекамское месторождение отрабатывается камерной системой. Параметры этой системы разработки весьма разнообразны. Наиболее постоянным параметром является длина камер, которая составляет 150-190 м. Ширина камер изменяется в пределах от 3 до 16 м, определяется устойчивостью пород кровли пласта и шириной исполнительного органа применяемого комбайна. По ширине очистные камеры делятся на одноходовые (ширина камеры равна ширине исполнительного органа комбайна) и многоходовые (ширина камеры больше исполнительного органа комбайна). Многоходовые камеры могут отрабатываться с наложением ходов комбайна или без наложений ходов с оставлением междуходового целика. Максимальная ширина камеры на сильвинитовых пластах месторождения ограничена 16 м, а при разработке карналлитового пласта - 8 м. Ширина междуходовых целиков - 0.7-1.2 м. Увеличение ширины междукамерных целиков и уменьшение ширины камер снижает опасность формирования в кровле камер трещин сдвига и отрыва, уменьшает высоту зоны обрушения. Высота камер определяется мощностью разрабатываемого пласта, высотой исполнительного органа комбайна, необходимостью при резке коржей в кровли пласта или необходимостью оставления защитной пачки. При разработке карналлитового пласта высота камеры ограничивается 10 м. Ширина междукамерных целиков в связи с широким разнообразием горно-геологических и горнотехнических условий изменяется от 3 до 18-20 м и для каждого участка определяется расчетным путем. При отработке нескольких пластов (КрII, АБ, В) междукамерные целики имеют соосное расположение [7]. Геометрические параметры камеры являются одним из важнейших параметров разработки месторождения, поскольку играют роль фактора, регулирующего устойчивость выработок и, как следствие, выравнивающего интенсивность процессов разрушения в них.

В работе [6] проведен анализ возможного влияния ширины камеры на проявление микросейсмической активности в калийных рудниках. Для анализа влияния ширины камеры на сейсмический режим калийных рудников рассматривались отдельно участки с одно-, двух- и трехпластовой отработкой. В расчетах учитывались данные только тех камер, где не было произведено закладки территории, или данные в периоды времени, когда камеры не были заложены. На участках с двух- и трехпластовой отработкой использовались данные, попадающие во временной интервал, начиная с года отработки первого пласта, заканчивая датой самой ранней закладки, при этом ширина камеры бралась максимальная. Для возможности дальнейшего сопоставления данных с разновозрастных выработок в параметры сейсмичности вводилась поправка за возраст выработок, согласно зависимостям, выявленным ранее в [1-3]. Анализ полученных результатов показал низкую корреляцию двух параметров (среднее значение взаимной корреляции рассматриваемых параметров не превысило порог 0.5).

Стоит отметить, что системами сейсмомониторинга на ВКМКС регистрируются различные типы событий. События, произошедшие в шахте, ассоциируются с внезапным разрушением пород вблизи горных выработок вследствие изменения естественно-го поля напряжений при проведении горных работ. Согласно [4], в горных выработках возможны различные типы механизмов сейсмических событий (рис. 1).



Рис. 1. Динамические процессы, отмечаемые в калийных рудниках: а – хрупкое разрушение целика; b – локальное обрушение пород кровли; с – динамическое разрушение пород кровли или почвы выработки [4]

Изучение механизмов сейсмических событий позволило установить, что наиболее вероятным очаговым процессом сильных сейсмических событий в калийных рудниках является *«обрушение»* кровли выработок [8]. В 2010-2014 гг. была произведена работа по разделению различных типов событий на рудниках ВКМКС. Всего за этот период было зарегистрировано более 3000 событий. С помощью специализированной программы, разработанной в лаборатории природной и техногенной сейсмичности «ГИ УрО РАН», основанной на моделировании сейсмограмм и инверсии регистрируемых волновых волн [8], было выделено 317 событий типа *«обрушения»*. Для каждого такого события были найдены характеристики сосредоточенной силы (амплитуда и фазы компонент Fx, Fy и Fz), а также тензора сейсмического момента (амплитуд и фаз компонент Мхх, Мху, Мхz, Муу, Муz и Mzz). Можно ожидать, что максимальный объем обрушений пород кровли связан с параметрами самой камеры, а именно с ее шириной и высотой. Поэтому для дальнейшего изучения влияния геометрических параметров очистной камеры на проявление микросейсмической активности были взяты только события типа «обрушения». Для таких событий были найдены параметры очистной выработки (высота и ширина). Стоит учитывать, что на одной территории возможна совместная отработка нескольких пластов, причем возможности сейсмической сети не позволяют привязать очаги к какому-то конкретному горизонту. В связи с этим при двух- и трехпластовой отработке брались максимальные значения ширины камеры и высоты. Также для анализа использовались максимальные величины моментной магнитуды событий в каждом представленном поддиапазоне данных, так как максимальная моментная магнитуда будет соответствовать максимальному объему возможного обрушения.

В таблице 1 представлена информация о количестве данных для разных сочетаний разрабатываемых пластов, а также диапазон изучаемых величин. Для изучения связи магнитуды с размерами камеры было выбрано сочетание пластов КрII+АБ (42 % от общего числа). Результаты анализа такой связи представлены на рис. 2.

Таблица 1

Пласт	Количество событий	Минимальная энергия, Дж	Максимальная энергия, Дж	Минимальная ширина, м	Максимальная ширина, м	Минимальная высота, м	Максимальная высота, м
Нет данных	52	327.0	7115.6				
KpII	17	622.7	5133.2	5.2	16.0	2.8	7.6
АБ	7	761.1	3858.9	4.0	16.0	3.9	9.2
КрІІ+АБ	134	289.3	8184.6	5.1	16.0	5.0	16.8
Bc	7	729.4	4558.6	4.3	13.7	4.4	5.8
KpII+Bc	6	483.3	3386.7	16.0	16.0	10.8	14.5
АБ+Вс	26	234.5	4534.3	5.3	15.0	4.9	11.4
КрІІ+АБ+Вс	44	190.6	6240.8	11.8	18.0	4.3	18.5
Кр2+Вк	19	376.0	7124.2	8.0	16.0	7.9	18.3
КрІІ+АБ+Вк	5	636.9	5202.6	15.0	15.0	19.6	21.0

Сведения о представительности данных

Весь объем представленных данных затрудняет выделение какой-либо однозначной связи между анализируемыми величинами, поскольку разброс по магнитуде для камер с одинаковыми размерами слишком широк. Однако при таком анализе важно сравнивать с размером камеры не все возможные в данных условиях сейсмические события, а только те из них, которые имеют наибольшую силу, так как именно максимальная энергия обрушений может быть ограничена размером выработки, тогда как ее нижний предел ограничен лишь регистрационными возможностями сети. Анализ распределения максимальных магнитуд показывает, что между ними и логарифмом размера выработок (как по ширине, так и по высоте) прослеживается прямая линейная связь. Стоит отметить, что аналогичная линейная зависимость ранее была получена в работе [5], где были проанализированы параметры 24 аварийных ситуаций за период с 1916 по 2014 г., связанных с формированием очагов обвального типа на различных месторождениях мира. В [5] теоретически было показано, что магнитуда события-обрушения с логарифмом размера очага связана соотношением: $M \sim 3 \lg(L) + const.$, что полностью подтверждалось эмпирическими данными в диапазоне магнитуд от -2 до 5. Полученные в данной работе коэффициенты наклона аппроксимирующих зависимостей несколько отличаются: 0.89 – для связи магнитуды с шириной камеры и 1.76 – для связи магнитуды с высотой камеры. Различие в коэффициентах наклона, вероятно, связано с ограничениями в диапазонах рассматриваемых величин, которые позволили выявить только локальный характер данных зависимостей.



Рис. 2. Зависимость моментной магнитуды от размеров камеры: a) от максимальной ширины; b) от максимальной высоты

Таким образом, получена линейная связь энергии сейсмических событий типа «обрушения» с геометрическими параметрами камеры. Зная заранее геометрические параметры выработок и планы горны работ, можно заранее оценить максимальновозможную энергию сейсмического событий типа «обрушения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Верхоланцева Т. В., Дягилев Р. А. Количественная оценка влияния горнотехнических параметров отработки месторождения на сейсмический режим // Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы третьего Всероссийского семинарасовещания / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М. : ГЕОС, 2015. С. 214-220.
- 2. Верхоланцева Т. В., Дягилев Р. А. Параметризация модели влияния различных факторов на сейсмичность калийных рудников // Геофизика. 2015. №5. С.12-18.
- 3. Верхоланцева Т. В., Дягилев Р. А. Применение ГИС-технологий для изучения влияния горнотехнических параметров на сейсмический режим калийных рудников // Проблемы недропользования. 2016. № 2 (9). С. 19-25.
- 4. Долгов П. В., Полянина Г. Д., Земсков А. Н. Методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках. Алма-Ата : Наука, 1987. 176 с.
- Дягилев Р. А. Определение М_{тах} обвальных землетрясений в районах распространения техногенного карста // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С.95-98.
- 6. Злобина Т. В. О влиянии ширины камеры на проявление микросейсмической активности на калийных рудниках // Горное Эхо. 2016. №2(63). С.43-47.
- 7. Аман И. П. Системы разработки: курс лекций. Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. унта, 2008. 202 с.
- 8. Шулаков Д. Ю., Маловичко Д. А., Верхоланцева Т. В. Изучение механизмов сейсмических событий на Верхнекамском месторождении калийных солей // Вестник

молодых ученых ПГНИУ: сб. научн. тр.: в 2 т./ отв. ред. Е.Н. Батурин. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2011. С. 94-102.

INFLUENCE OF THE MINE CHAMBER PARAMETERS ON OBSERVED MICROSEISMIC ACTIVITY

Tatiana V. Zlobina «MI UB RAS», Perm tati.verkholantseva@gmail.com

Summary. Not backfilled openings in mines of Verkhnekamskoye deposit are responsible for observed microseismic activity; variation of seismicity is associated with mining parameters. One of the main type of dynamic processes in potash mines is rockfall. Such events are associated with the parameters of the mine openings: width and height. The fact, since 2010 till 2014 more than 300 «rockfall» events were recorded. The influence of the chamber's geometrical parameters on observed microseismic activity was received for such events. **Key words:** potash mines, mining parameters, width and head of chamber, seismological monitoring, seismic events, rockfall, microseismic activity.

УДК 550.34.062 ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Ибрагимов Алишер Хайдарович Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан alisher_ibragimov@yahoo.com

Аннотация. Системы раннего оповещения о сильных землетрясениях (СРОЗ) в настоящее время существуют в следующих странах: Италия (на основе данных сети ISNet), Мексика (Мехико), США (Калифорния), Румыния, Греция, КНР, Турция, Тайвань, Япония (UrEDAS). Принцип действия СРОЗ основан на быстром автоматическом определении магнитуды сильных землетрясений и расчете интенсивности сейсмических воздействий на защищаемой территории. Были оценены параметры Р-волн в зависимости от магнитуды событий.

Ключевые слова: Р-волна, магнитуда, период, пиковая амплитуда.

Задача системы дальнего обнаружения землетрясения состоит в быстром определении начала землетрясения, оценке ожидаемой интенсивности в защищаемом городе. Это может быть сделано обнаружением энергии, которая исходит от землетрясения быстрых Р-волн, обычно характеризующихся небольшой амплитудой (исключение – близкие и глубокофокусные события). Используя информацию о Р-волне, мы сначала оцениваем местоположение и величину землетрясения. Менее разрушительная Р-волна прибывает первой, и мы можем определить, какую интенсивность сейсмических воздействий можно ожидать от прихода S-волн. В зависимости от расстояния система раннего оповещения может управлять тревогой за 20-200 секунд до прибытия сильных S-волн.

Алгоритмы системы раннего оповещения. Принцип действия следующий. Очаг события генерирует три типа волн: продольные (Р), поперечные (S) и поверхностные (волны Лява, L и Релея, R). На долю поперечных и поверхностных волн обычно приходится до 80 % энергии землетрясения, т.е. ими вызываются наибольшие колебания. Скорость распространения Р-волны в зависимости от свойств геологической среды варьирует в пределах 6-8 км/с. Скорость же поперечных и поверхностных волн не превышает 3.5 км/с. При гипоцентральном расстоянии 100 км разница во времени прихода продольных и других волн составляет 12.6 с; на расстоянии 200 км – 23.2 с; при 300 км – 33 с. При определении магнитуды землетрясения по параметрам Р-волны за 3-5 с появляется возможность предупреждения о приходе сильных колебаний от землетрясения. В настоящее время США тестируют систему Shake Alert [1] и ElarmS [2] – детектирует энергию, излучаемую очагом землетрясения. Используется спектр Р-волны по данным нескольких станций. По эмпирической модели затухания энергии с расстоянием оценивается интенсивность на сотрясаемой площади. Методология позволяет генерировать сигнал тревоги до прихода S- и LR-волн.

Метод требует применения данных не менее четырех станций. Virtual Seismologist – метод «Виртуальный сейсмолог» использует в качестве входных данных ускорения, скорости и смещения для многофакторного вероятностного комплексного использования Баейсовской модели. Здесь применяется множество параметров, такие как топология сети, текущая сейсмическая активность, модель вспарывания в очаге и др. В основу метода входит робастный анализ параметрических данных. Onsite –,c-Pd алгоритм. Алгоритм тс-Pd основан на определении магнитуды землетрясения по периоду тс и амплитуде Pd первого вступления P-волны. Этот алгоритм позволяет быстро определять магнитуду событий по данным одной станции, однако менее точен в сравнении алгоритмов определения параметров событий по данным ряда станций.

В случае если в качестве сенсора используется акселерометр, его сигнал подвергается двойному интегрированию в режиме реального времени: акселерограммавелосиграмма смещения. Здесь определяется период смещений (параметр τ_c). Пиковые значения Pd вычисляются по велосиграмме.

Для определения зависимости магнитуды от периода Р-волны было проанализировано 1700 сейсмограмм от событий с разной магнитудой. Записи сильных землетрясений с М>7 получены из BUD IRIS. На рис. 1 приведена зависимость магнитуды от периода Р-волны.



Рис. 1. Зависимость магнитуды от периода Р-волны



По результатам анализа скорости смещения грунтов построена кривая зависимости скорости смещения от магнитуды для «приведенного» расстояния 100 км (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость скорости смещения грунтов от магнитуды

В зависимости от грунтовых условий коэффициенты выражения V=f(M) меняются, для каждого пункта регистрации имеют свои значения. При реализации системы СРОЗ это обязательно должно учитываться.

Оценку времени срабатывания системы раннего оповещения, основанной на локации очага события по данным трех и более станций, можно осуществлять следующим образом. Предварительно планировалась разработка системы на основе системы сбора и передачи данных Seiscomp-3 (Seismic Communication Processor) – сбор потока данных от удаленных станций в режиме реального времени и передача его на сервер СРОЗ. Длительность MiniSeed пакетов, передаваемых по протоколу SeedLink на систему SeisComp-3, составляет 8 секунд, т.е. если после прихода P-волны через 8 с приходит S-волна, то она преодолевает расстояние 57.5 км. С учетом задержки потока данных в каналах связи (не менее 3-5 с, в зависимости от скорости подключения станции), длительность пакета MiniSeed по протоколу SeedLink, а также времени срабатывания системы (триггер + 3 с для определения периода и амплитуды P-волны) суммарное время «принятия решения» составляет 12-14 с.

Анализ конфигурации и геометрии сети сейсмического мониторинга Узбекистана показал, что в случае использования алгоритмов **Elarms** и **Virtual Seismologist** время предупреждения о приходе поперечных и поверхностных волн сильно сокращается из-за необходимости использования данных минимум четырех станций и большого расстояния между ними.

В нашем случае наиболее приемлемым является алгоритм **Onsite** с использованием потока данных от одной станции. Этот алгоритм нуждается в измерении периода P-волны и пиковых значений скоростей (PGV) на пункте регистрации. Если для периода P-волны имеются уравнения регрессии, то для PGV необходимы исследования приращения сейсмических волн на станциях, обусловленного грунтовыми условиями. Для решения этой задачи планируется применение метода «приведенной к стандартному расстоянию» магнитуды. Оценим возможное время оповещения до прихода сейсмических воздействий на территорию г. Ташкента. Время прихода волн на сейсмические станции показано в таблице 1.

Таблица 1

Время прихода волновых фаз на сейсмические станции									
Станция	Расстояние, км	Время прихода	Время прихода	S-P, c					
		Р-волны, с	S-волны, с						
Очаговая зона П	апского землетря	сения, 40.95° с.ш.,	, 70.97 ° в.д.						
Наманган	57	8.14	16.29	8.14					
Фергана	92	13.14	26.29	13.14					
Андижан	115	16.43	32.86	16.43					
Ташкент	148	21.14	42.29	21.14					
Агоритм OnSite – время оповещения до прихода S-волны – 31 с									
Алгоритм ElarmS	-время оповещени	ия – 6 с							
Очаг К	анского землетря	сения 19.07.2011, 4	Ю.1° с.ш., 70.5° в.д	•					
Фергана	58	8.29	16.57	8.29					
Наманган	105	15.00	30.00	15.00					
Андижан	120	17.14	34.29	17.14					
Ташкент	202	28.86	57.71	28.86					
Алгоритм OnSite	– время оповещени	ия до прихода S-во.	лны – 46 c						
Алгоритм E-alarm	п-время оповещен	ия – 22 с							
Оча	аговая зона в райс	оне Бахмала, 39.9°	с.ш., 68.2° в.д.						
Джиззак	33	4.71	9.43	4.71					
Самарканд	91	13.00	26.00	13.00					
Янгиюль	166	23.71	47.43	23.71					
Ташкент	196	28.00	56.00	28.00					
Агоритм OnSite –	время оповещения	н до прихода S-воли	ны – 48 с						
Алгоритм ElarmS	-время оповещени	ия – 15 с							
Очаг Китаб	ского землетрясен	ия 5 апреля 2016	г., 39.10° с.ш., 66.8	4°в.д.					
Самарканд	57	8.14	16.29	8.14					
Джиззак	136	19.43	38.86	19.43					
Ташкент	315	45.00	90.00	45.00					
Агоритм OnSite –	время оповещения	н до прихода S-воли	ны – 79 с						
Алгоритм ElarmS	-время оповещени	ия – 26 с							
	Газлий	ская очаговая зон	a						
Газли	37	5.29	10.57	5.29					
Тамды	174	24.86	49.71	24.86					
Нурата	184	26.29	52.57	26.29					
Самарканд	307	43.86	87.71	43.86					
Джиззак	367	52.43	104.86	52.43					
Ташкент	Гашкент 483 69.00 138.00 69.00								
Алгоритм OnSite - время оповещения до прихода S-волны – 130 с									
Алгоритм ElarmS – время оповещения – 85 с									

Заключение. С использованием данных сейсмических станций Узбекистана получены региональные регрессионные уравнения, описывающие связь параметров Рволны с магнитудой сейсмического события. Выявлено, что в зависимости от грунтовых условий изменяются коэффициенты уравнений регрессии V=f(R/M) на примерах сейсмических станций Андижан, Фергана, Ташкент и Джиззак. Получено регрессионное уравнение связи магнитуды событий с периодом Р-волны. Получена зависимость скорости смещения грунтов от магнитуды землетрясений для расстояния 100 км.

82

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Elizabeth S. Cochran at al. Earthquake Early Warning ShakeAlert System: Testing and Certification Platform. Seismological Research Letters. 2018. Vol 89. N 1. P.108-117.
- 2. Allen R.M. "The Elarms earthquake early warning methodology and its application across California" in Earthquake early warning systems / P. Gasparini, G. Manfredi, and J. Zschau, Eds. 2007. P. 21-44.
- 3. Yamada M. and Heaton T. Extending the Virtual Seismologist to Finite Ruptures; An Example from Chi-Chi Earthquake // Proceedings of Earthquake Early Warning Workshop, July 13-15, 2005. California Institute of technology, Pasadena, CA, USA, 2005.
- 4. Determination of earthquake early warning parameters, τ_c and P_d , for southern California / Wu Y.-M. [et al] . Geophys. J. Int. 2007. No170. P. 711-717.

PARAMETERS OF SYSTEM OPERATIONAL EARLY EARTHQUAKE WARNINGS

Alisher Kh. Ibragimov Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Tashkent, Uzbekistan alisher_ibragimov@yahoo.com

Summary. Strong earthquake early warning systems (SROS) currently exist in countries as the followes: Italy (based on ISNet data), Mexica (Mexico City), USA (California), Romania, Greece, China, Turkey, Taiwan, Japan (UrEDAS). The principle of operation of the CPAA is based on the rapid automatic determination of the magnitude of strong earthquakes and the calculation of the intensity of seismic effects on the protected area. The parameters of P-waves were estimated depending on the magnitude of the events. **Keywords:** P-wave, magnitude, period, peak amplitude.

Keywords. I -wave, magintude, period, peak ampitude.

УДК 550.832.5:651.3 ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ ОБЪЕМНОЙ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ОБСАЖЕННЫХ СКВАЖИНАХ

Ильясова Милауша Ильдаровна, Сиразетдинов Ильшат Тагирович, Гайфуллин Яхия Самигуллинович ПАО НПП ВНИИГИС, г. Октябрьский otdel19@list.ru

Аннотация. Проведены исследования по оценке достоверности расчета объемной литологической модели в обсаженных скважинах в условиях дефицита геофизической информации. Основной информацией при расчете объемной литологической модели является элементный состав исследуемых сред по данным спектрометрических методов СГК и СНГК-Ш. Дополнение информации по данным ЯГФМ априорной геологогеофизической информацией позволяет уменьшить влияние факторов, связанных с достоверностью результатов. Показано, что реализованная

технология петрофизического моделирования позволяет объективно оценивать компонентный состав горных пород.

Ключевые слова: объемная литологическая модель, обсаженная скважина, априорная геолого-геофизическая информация, ядерно-геофизические методы каротажа.

Построение объемной литологической модели пород представляет значительный интерес при решении промыслово-геофизических задач для обсаженных скважин. Необходимость и преимущества использования детальной литологической модели горных пород связаны с тем, что без уточнения геологического разреза, вскрытого обсаженной скважиной, затруднительно рассматривать вопросы оптимизации режимов эксплуатации скважины, повысить достоверность решения ряда геолого-технических задач, включая выбор интервалов перфорации, учесть возможное техногенное кавернообразование, выявить угрозу грифонообразования и т.п. Поэтому решение задач ГИСконтроля неразрывно переплетается с анализом литологических и фильтрационноемкостных характеристик пород по всему разрезу скважины. Оптимальное использование всей имеющейся информации возможно на основе петрофизического моделирования, так как, согласно [1], в петрофизике горную породу представляют в общем случае как гетерогенную многокомпонентную многофазную термодинамическую систему. Основными элементами такого объекта являются компонентные (минеральные) характеристики химических составов, а также текстурно-структурного строения, которыми и обусловлены физические свойства горной породы. Данное определение горной породы является основой для петрофизического моделирования физических свойств горных пород при переходе от геофизических параметров к значениям параметров, характеризующих литологию и фильтрационно-емкостные свойства.

Одними из факторов, влияющих на геофизические измерения в обсаженной скважине, являются влияние многоколонной конструкции, толщины и целостности колонн, различной толщины цемента за колоннами. Значительное влияние оказывает разрушение цемента и породы за колоннами, а также накопление газа в образовавшихся пустотах.

Другим фактором является то, что измеряемые параметры зависят от одновременного влияния многих компонент горной породы. Только в отдельных случаях их можно представить в виде одномерных связей. Но с другой стороны, взаимосвязанность влияющих факторов способствует самоорганизации интерпретационной модели, что влияет на повышение достоверности получаемых результатов.

В условиях обсаженной скважины сталкиваемся с неполнотой необходимой геофизической информации. Это связано с тем, что, во-первых, многоколонные конструкции скважины исключают или ограничивают использование основных видов каротажа, успешно применяемых в необсаженных скважинах, и, во-вторых, при исследовании скважин старого фонда часто обнаруживается неполный комплекс ГИС-бурения или даже его отсутствие. В отличие от скважин с открытым стволом, отсутствуют некоторые традиционные методы: акустический каротаж, плотностной каротаж, электрические виды каротажа, что создает определенный дефицит информации для рассмотрения объемных моделей горных пород.

В этой связи, в настоящее время при решении задач в обсаженных скважинах актуальными стали спектрометрические методы радиоактивного каротажа. На основе разработанных в ПАО НПП «ВНИИГИС» и АО НПФ «ГИТАС» приборов и методик спектрометрического гамма каротажа (СГК), широкодиапазонного спектрометрического нейтронного-гамма каротажа (СНГК-Ш) в различных модификациях [2] стало возможным получать значительную информацию об элементном составе, плотности, пористости горных пород непосредственно через колонны по всему геологическому разрезу. Это позволяет решать вопросы повышения достоверности задач ГИС-контроля с привлечением в ряде случаев априорной геолого-геофизической информации, включая данные ГИС для открытого ствола.

Хотя корректное разделение всех взаимосвязанных факторов является непростой задачей, при организации технологического процесса условно рассматриваем отдельные этапы:

• учет влияния многоколонной конструкции скважины на данные, получаемые по спектрометрическим методам радиоактивного каротажа;

• оценку физических свойств по данным ГИС, включая оценку элементного состава породы и глин по спектрометрическим методам радиоактивного каротажа (плотность, глинистость, водородосодержание, насыщенность пород);

• организацию технологии оценки объемной модели горных пород с учетом результатов предыдущих этапов можно рассматривать в виде самостоятельного этапа. На данном этапе может использоваться как решение систем петрофизических уравнений, так и, по возможности, раздельное определение некоторых компонент. Данные, полученные на этом этапе, позволяют моделировать решение прямой задачи, т. е. по компонентному составу рассчитать теоретические значения физических свойств горной породы. Их сопоставление с фактическими данными позволяет контролировать адекватность используемой информации. Основной информацией для данного этапа являются:

- физические свойства горных пород (плотность, радиоактивность и ее составляющие, пористость), прогнозируемые по содержанию ЕРЭ значения эффективной пористости;

- имеющаяся петрофизическая информация о внутренних взаимосвязях компонент. Это является также достаточно весомым фактором, способствующим повышать достоверность оценки минералогического состава при дефиците информации. В качестве примеров можно привести связи эффективной пористости от доли глинистого цемента, влияния карбонатизации в терригенной породе на коллекторские свойства, влияния структурных элементов в виде полевых шпатов на пористость и проницаемость пород [3]. Различными исследователями получены статистические закономерности между составом глин и эффективной пористостью.

На идеологию петрофизического моделирования ориентирована технология интерпретации на основе программы ОРТСОМ [4, 5] с использованием интегрированной системы ПРАЙМ (ГеоТЭК). При организации технологии широко использованы средства программирования, предназначенные для интерпретатора, что позволяет гибко и оперативно настраивать технологию в зависимости от изменяющихся геологотехнологических ситуаций.

Схема учета и контроля влияния различных факторов, влияющих на достоверность оценки объемной модели горных пород в условиях обсаженной скважины, показана на рис. 1. Основной ее смысл заключается в итеративном подборе основных параметров модели, удовлетворяющих одновременно многим критериям с учетом следующей информации:

 адекватность используемых петрофизических связей и предполагаемых компонент; это контролируется путем сопоставления теоретических и фактических кривых физических свойств, используемых в петрофизических связях;

- априорные взаимосвязи между различными параметрами породы;
- априорная информация о литологии и стратиграфии;
- управление технологией интерпретации с учетом опыта интерпретатора.



Рис. 1. Схема учета и контроля влияния различных факторов, влияющих на достоверность оценки объемной модели горных пород в условиях обсаженной скважины

Ниже иллюстрированы некоторые частные случаи, связанные с контролем достоверности интерпретации. На рис. 2 приведены результаты объемной модели горных пород по сеноманским отложениям Западной Сибири. В данной ситуации интерес представляет то, что, хотя интерпретация по обсаженной скважине была проведена в основном только по данным СГК и СНГК-Ш, благодаря использованию петрофизической модели, учитывающей калиевые полевые шпаты, получили результаты, не противоречащие кривым ПС, БК по открытому стволу. Это показывает эффективность ядерно-геофизических методов в этих условиях.

Ниже приводятся случаи недостатка или не учета геолого-геофизической информации и их последствия, которые подробно иллюстрируются в докладе.

– Невозможность выявления по разрезу наличия опоковидных глин, гипсов. Это проявляется в виде ошибочного определения фильтрационно-емкостных свойств.

– Искажение значений измеренных в скважине параметров при наличии радиационно-геохимических аномалий (РГХА). Прежде всего, это приводит к практической невозможности расчета объемных моделей пород только по радиоактивным методам в таких интервалах.

– Наличие техногенного скопления газа в заколонном пространстве. Проявляется в виде искажения эффективной пористости по ГК.

– Наличие зацементированной каверны. Проявляется в виде искажения эффективной пористости по ГК.

– Неучтенное изменение диаметра скважины из-за отсутствия кавернограммы. Искажается объемная модель горных пород по разрезу.

– Неучтенные конструкционные особенности скважины. Искажается объемная модель горных пород по разрезу.



Рис. 2. Пример сопоставления данных ГИС открытого ствола с результатами интерпретации по обсаженной скважине

Таким образом, в статье изложены основные факторы, влияющие на достоверность определения объемной модели горных пород по обсаженной скважине. Проведено экспериментальное изучение влияния полноты геолого-геофизической информации для различных геологических ситуаций в обсаженной скважине. Используемая технология интерпретации позволяет оперативно контролировать влияние искажающих факторов. Отметим также, что выявление ряда факторов стимулирует решение некоторых задач ГИС-контроля.

Основную информационную нагрузку при решении данной задачи содержат данные, получаемые по спектрометрическим методам радиоактивного каротажа, – СНГК, СГК, интерпретируемые на основе петрофизического моделирования совместно с априорной геолого-геофизической информацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика: учебник. М. : Недра, 1991.
- 2. Опробование комплекса спектрометрических методов ядерно-геофизического каротажа в скважинах ПХГ / Даниленко В. Н. [и др.]. Газовая промышленность. 2007. № 11. С. 52-54.
- Кожевников Д.А. Гамма-спектрометрия в комплексе геофизических исследований нефтегазовых скважин - 1, 2. НТВ АИС «Каротажник». 1997. №№38-39. С. 27-57; с. 37-67.
- 5. Кнеллер Л. Е., Гайфуллин Я. С., Рындин В. Н. Автоматизированное определение коллекторских свойств, нефтегазонасыщенности по данным каротажа (петрофизические модели и методы) // Обзор. М. : ВИЭМС, 1990. С. 73.
- 4. Кнеллер Л. Е., Гайфуллин Я. С. Оценка погрешностей определения подсчетных параметров при комплексной интерпретации материалов ГИС. М. : Недра, «Прикладная геофизика», 1991. Вып.125. С. 127-137.

STUDY OF THE FACTORS AFFECTING ON THE RELIABILITY OF THE ESTIMATE OF A VOLUME LITHOLOGIC MODEL IN A CASED BOTTOM HOLES

Milausha I. Ilyasova, Ilshat T. Sirazetdinov, Yahiya S. Gaifullin PJSC SPE VNIIGIS, Oktyabrskiy otdel19@list.ru

Summary. Studies have been conducted to estimate validity of calculation of a volumetric lithological model for cased wells using nuclear geophysical data. The main information in the calculation of the volume lithologic model is the elemental composition of the studied media according to the spectrometric methods of NGL and SNGL-W. The addition of information on the nuclear method data with a priori geologic and geophysical information allows us to reduce the influence of factors related to the reliability of the results. It is shown that the used technology of petrophysical modeling allows an objective assessment of the component composition of rocks.

Key words: volumetric lithologic model, cased borehole, geological and geophysical information, nuclear logging.

УДК 550.837 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В МЕТОДЕ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

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

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

Рассмотрим математическую модель генерации электрических полей адсорбции, диффузии и течения в методе спонтанной поляризации с общих позиций математического моделирования, в рамках модели сплошной среды. Основой построения математической модели процесса эволюции объекта в рамках полевой теории является обобщенный принцип Гамильтона [4].

Плотность функции Лагранжа равна [4]:

$$\Lambda\left(q^{j},\frac{\partial q^{j}}{\partial x^{\alpha}},\frac{\partial q^{j}}{\partial t},\mathbf{r},t\right) = w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}} - w_{\mathcal{H}\mathcal{D}\mathcal{M}},\tag{1}$$

здесь $w_{\kappa u h}$ и w_{nom} – плотности кинетической и потенциальной энергии, кг/(м·c²).

Плотность кинетической энергии (кинетическая энергия единицы объема) для рассматриваемых трех потенциальных полей имеет вид [2]:

$$w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}} = w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}}^{\mathcal{O}} + w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}}^{\mathcal{O}} + w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}}^{\mathcal{O}}, \qquad (2)$$

где $w_{KuH}^{\phi} = \frac{1}{2}\rho \mathbf{v}^2$ – плотность кинетической энергии движения флюида; ρ – плотность флюида, кг/м³; \mathbf{v} – скорость течения флюида, м/с; $w_{KuH}^{\theta} = \frac{1}{2}C\mathbf{v}^2$ – плотность кинетической энергии переноса вещества; C – концентрация растворенного вещества, кгэкв/м³; $w_{KuH}^3 = \frac{1}{2}\overline{\rho}\mathbf{v}^2$ – плотность кинетической энергии движущихся зарядов со средней скоростью \mathbf{v} , существенно меньшей скорости света [1], м/с; $\overline{\rho}$ – объемная плотность вещества зарядов, кг/м³. Тогда вариация кинетической энергии:

$$\delta w_{\mathcal{K}\mathcal{U}\mathcal{H}} = \left(-\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial \rho}{\partial t} - C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial C}{\partial t} - \overline{\rho} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}\right) \delta \mathbf{r}.$$

При малых изменениях давления, времени и расстояний флюид можно считать несжимаемым, т.е. положить $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$. При аналогичных физических условиях для изменения концентрации вещества можно положить $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ и считать диффузию стационарной во времени. Объемная плотность вещества зарядов $\overline{\rho}$ также во времени не изменяется. В результате получим выражение для вариации кинетической энергии вида:

$$\delta w_{KUH} = -\left(\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \overline{\rho} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}\right) \delta \mathbf{r} .$$
(3)

Рассмотрим плотность потенциальной энергии как слагаемое, входящее в плотность функции Лагранжа. Потенциальная энергия характеризует тело относительно источника силы (силового поля).

Плотность потенциальной энергии представим в следующей форме [2]:

$$w_n = w_n^{dp} + w_n^{e} + w_n^{3}, \tag{4}$$

где $w_n^{\phi} = \left(-\frac{c\rho}{\mu} \operatorname{grad} P, \mathbf{v} + \mathbf{q}_{CT}^{\phi}, \mathbf{v}\right)$ – плотность потенциальной энергии движения

флюида. Первое слагаемое в этом выражении обусловлено течением флюида, протекающим через проницаемую среду, получаемое из закона Дарси, второе слагаемое – плотность потенциальной энергии движения флюида, создаваемого сторонними источниками \mathbf{q}_{CT}^{ϕ} , например, электрическим полем (электроосмос) или изменением температуры среды; $w_n^{\theta} = (-k_n D \mathbf{grad} C, \mathbf{v}) + \mathbf{div}(C \mathbf{v}) \cdot (\mathbf{v}, \mathbf{r}) + (\mathbf{q}_{CT}^{\theta}, \mathbf{v})$ – плотность потенциальной энергии \mathbf{q}_{CT}^{θ} , получаемое описывает плотность потенциальной энергии переноса вещества; \mathbf{q}_{CT}^{θ} – плотность потенциальной энергии переноса вещества, создаваемого сторонними силами. Первое слагаемое описывает плотность потенциальной энергии переноса вещества, получаемое из закона Фика, второе слагаемое – плотность потенциальной энергии

переноса вещества, получаемое из закона Фика, второе слагаемое – плотность потенциальной энергии с учетом конвекции вещества, третье слагаемое возникает благодаря сторонним источникам диффузии;

$$w_n^3 = \frac{\mathbf{i}^2 t}{2\sigma}$$
 – плотность потенциальной энергии движения зарядов, создаваемого элек-

трическим полем в проводящей среде. Это слагаемое учитывает плотность энергии электрического поля токов, создаваемого в проводящей среде и следует из закона Джоуля-Ленца для количества теплоты, выделяемого за промежуток времени t: $P = I^2 Rt/2$.

Так как рассматриваются два поля – электрическое и магнитное, то существуют две силы, действующие на движущийся заряд – сила Кулона и сила Ампера. Поскольку скорость изменения процессов считаем постоянной, то можно пренебречь магнитной составляющей поля. В результате вариации потенциальной энергии выражения (4) принимает вид:

$$\delta w_n^{\phi} = \left[\operatorname{div} \left(-\frac{c\rho}{\mu} \operatorname{grad} P \right) \mathbf{v} + \operatorname{div} \left(\mathbf{q}_{CT}^{\phi} \right) \cdot \mathbf{v} \right] \delta \mathbf{r}$$

$$\delta w_n^{\theta} = \left[\operatorname{div} \left(-k_n D \operatorname{grad} C \right) \mathbf{v} + \operatorname{div} \left(\mathbf{q}_{CT}^{\theta}, \mathbf{v} \right) \right] \delta \mathbf{r}$$

$$\delta w_n^{3} = \left[\frac{\mathbf{i}}{\sigma} \cdot \operatorname{div}(\mathbf{i}) t \right] \delta \mathbf{r} = \left[\frac{\mathbf{i} t}{\sigma} \cdot \operatorname{div}(-\sigma \operatorname{grad} U + \mathbf{i}_{CT}) \right] \delta \mathbf{r}$$
(5)

Подставляя плотность функции Лагранжа (2) с учетом выражений (4), (6) в уравнения Лагранжа (2) и вычисляя входящие в уравнения системы (3), (5), производные с учетом преобразований работ [1], окончательно приходим к следующей системе дифференциальных уравнений с частными производными, которая является уравнением движения объекта:

$$\begin{cases} -\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{div} \left(-\frac{c\rho}{\mu} \mathbf{grad} P \right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{div} \left(\mathbf{q}_{CT}^{\phi} \right) \cdot \mathbf{v} = 0, \\ -C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{div} \left(-k_n D \mathbf{grad} C \right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{div} \left(\mathbf{q}_{CT}^{\theta} \right) \cdot \mathbf{v} = 0, \\ -\overline{\rho} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{\mathbf{i} t}{\sigma} \cdot \mathbf{div} \left(-\sigma \mathbf{grad} U \right) + \frac{\mathbf{i} t}{\sigma} \cdot \mathbf{div} \left(\mathbf{i}_{CT} \right) = 0. \end{cases}$$
(6)

С учетом стационарного состояния системы, т.е. постоянных скорости течения флюида и перемещения зарядов и независимости от времени концентрации и давления, связанных только с пространственными координатами, система (6) примет вид:

$$\begin{cases} \operatorname{div}\left(-\frac{c\rho}{\mu}\operatorname{grad}P\right)\cdot\mathbf{v} + \operatorname{div}\left(\mathbf{q}_{CT}^{\phi}\right)\cdot\mathbf{v} = 0,\\ \operatorname{div}\left(-k_{n}D\operatorname{grad}C\right)\cdot\mathbf{v} + \operatorname{div}(C\ \mathbf{v})\cdot\mathbf{v} + \operatorname{div}\left(\mathbf{q}_{CT}^{\theta}\right)\cdot\mathbf{v} = 0,\\ \frac{\mathbf{i}\ t}{\sigma}\cdot\operatorname{div}\left(-\sigma\operatorname{grad}U\right) + \frac{\mathbf{i}\ t}{\sigma}\cdot\operatorname{div}(\mathbf{i}_{CT}) = 0. \end{cases}$$
(7)

Отсюда получим систему уравнений непрерывности плотности потоков полей:

$$div\left(-\frac{c\rho}{\mu}gradP + q_{CT}^{\phi}\right) = 0,$$

$$div\left(-k_n DgradC + C \mathbf{v} + q_{CT}^{\theta}\right) = 0,$$

$$div\left(-\sigma gradU + \mathbf{i}_{CT}\right) = 0.$$
(8)

Преобразуя, перейдем к уравнениям Пуассона для соответствующих потенциалов полей (давления, концентрации и электрического потенциала [3]):

$$\Delta P = -\frac{\mu}{c\rho} \operatorname{grad}\left(\frac{c\rho}{\mu}\right) \cdot \operatorname{grad}P + \frac{\mu}{c\rho} \operatorname{div}\left(\mathbf{q}_{CT}^{\phi}\right)$$
$$\Delta C = -\frac{1}{k_{nD}} \operatorname{grad}(k_{n}D) \cdot \operatorname{grad}C + \frac{C}{k_{nD}} \operatorname{div}(\mathbf{v}) + \frac{1}{k_{nD}} \mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}C + \frac{1}{k_{nD}} \operatorname{div}\left(\mathbf{q}_{CT}^{\theta}\right), \quad (9)$$
$$\Delta U = -\frac{\operatorname{grad}\sigma}{\sigma} \cdot \operatorname{grad}U + \frac{1}{\sigma} \operatorname{div}(\mathbf{i}_{CT})$$

В соответствии с основными принципами математического моделирования математическая модель объекта исследования:

МОДЕЛЬ = проводящая, пористая и проницаемая неоднородная среда + электрическое поле, построена в виде плотности функции Лагранжа (1), включающей в себя слагаемые (2), (4). Установлен физический смысл слагаемых (2), (4). Уравнения движения объекта исследования (6) получены из плотности функции Лагранжа путем подстановки последней в общие полевые уравнения с последующим выполнением всех необходимых операций дифференцирования. В результате получено решение краевой задачи (9) для модельной системы дифференциальных уравнений в частных производных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Батыгин В. В., Топтыгин И. Н. Современная электродинамика, часть 1. Микроскопическая теория: учебное пособие. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. 736 с.
- 2. Исламгалиев Д. В., Сурнев В. Б. Математическая модель генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 10. С. 337-343.
- Кормильцев В. В., Ратушняк А. Н. Теоретические и экспериментальные основы спонтанной поляризации горных пород в нефтегазовых скважинах. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 135 с.
- 4. Сурнев В. Б. Математическое моделирование. Непрерывные детерминированные модели. Екатеринбург : Издательство УГГУ, 2013. 689 с.

THE MATHEMATICAL MODEL IN THE METHOD OF SPONTANEOUS POLARIZATION

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

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

Key words: electric field, spontaneous polarization, adsorption, diffusion, filtration

УДК 550.34

СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ФУНКЦИИ ПРИЕМНИКА ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «СТОРОЖЕВОЕ»

^{1,2,3}Калинина Элеонора Владимировна, ¹Гоев Андрей Георгиевич ¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж, ² ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, ³ИДГ РАН, г. Москва elakalinina@gmail.com, andr.goev@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты исследования строения литосферы Воронежского кристаллического массива методом функций приемника по данным сейсмической станции «Сторожевое». Был получен предварительный скоростной разрез до глубины 50 км.

Ключевые слова: землетрясение, литосфера, метод приемных функций, обменные волны.

Территория Воронежского кристаллического массива (ВКМ), являющаяся частью Восточно-Европейской платформы (ВЕП), является интересным объектом для проведения современных геофизических исследований. Структура ВКМ представляет собой неглубоко погребенный выступ докембрийского фундамента, в пределах которого отмечаются выходы пород фундамента на дневную поверхность.

За последние несколько десятилетий территория ВКМ была достаточно подробно изучена различными глубинными геофизическими методами. Выполнены: магнитотеллурическое зондирование, магнито-вариационные, гравиметрические и петрофизические исследования. Территория Воронежского кристаллического массива хорошо изучена глубинным сейсмическим зондированием (ГСЗ). Выполнены ГСЗ от промышленных взрывов, отработаны три геотраверса, и проведен сейсмический эксперимент «Àстра» [2, 3].

В результате работ получены данные о физических свойствах и структуре земной коры и верхов мантии региона, построены плотностные и геоэлектрические модели земной коры [6]. Несмотря на достаточно подробную изученность территории региона раз-

личными геофизическими методами, до сих пор остаются пробелы в познании глубинного строения.

В настоящей работе для изучения глубинного строения Земли Воронежского кристаллического массива опробован метод приемных функций обменных Р-волн (P receiver functions). Метод основан на выделении и интерпретации обменный волн, возникающих на контрастных границах от телесейсмических землетрясений. На первом этапе исходная запись подвергается фильтрации, далее для каждой индивидуальной трассы осуществляется переход в лучевую систему координат (LQT), где L совмещается с направлением выхода первой продольной волны, а Q и T с SV и SH соответственно. В предположении, что функция очага в такой системе координат записана на L компоненте, для каждой записи подбирается деконволюционный фильтр, трансформирующий ее в запись типа дельта функции. Получившаяся на Q компоненте трасса, после применения этого фильтра ко всем каналам, и является P receiver functions. Для подавления случайных сигналов и артефактов функций очага все RF суммируются, и инвертируется уже суммарная Q компонента [1].

Относительно малые углы выхода сейсмических волн рассматриваемых землетрясений позволяют говорить о построении скоростной структуры непосредственно под станцией. Данный подход при исследовании глубинного строения на территории ВКМ применяется впервые.

Определяющим фактором при выборе методики receiver functions является тот факт, что изучение глубинного строения региона можно проводить по материалам лишь одной сейсмической станции. При единственном условии, что накоплен достаточно большой объем цифровых записей телесейсмических землетрясений.

В работе использовались материалы, полученные по данным стационарной широкополосной трехкомпонентной сейсмической станции «Сторожевое», которая входит в Федеральную сеть ФИЦ ЕГС РАН (международный код станции –VSR). Станция установлена в 1999 г. в пределах Лосевской шовной зоны [7], укомплектована сейсмометрами типа СМЗ-ОС. Координаты: φ° = 51.2162 N, λ° = 39.1664 Е.

Глубина залегания кристаллического основания составляет +25 м, отметка дневного рельефа находиться на 180 м выше уровня моря (рис. 1). Осадочный чехол мощностью 150-160 м сложен отложениями аргиллитоподобных глин с прослоями известняков, известняками с прослоями глин, мелом, суглинками и песками, залегает на кристаллическом основании, представленном лосевской вулканогенно-осадочной толщей [7].



Рис. 1. Разрез осадочного чехла в районах расположения сейсмической станции (по данным ПГО «Воронежгеология»)

В результате работы отобрано порядка 70 телесейсмичсеких землетрясений с эпицентральными расстояниями в диапазоне 40-105 градусов и магнитудой события > 5.5. Основным критерием для отбора являлось наличие вступление импульсной формы и соотношение сигнал/шум более 3.

Инверсия суммированной функции приемника в скоростной разрез производилась в интервале 0-15 секунд, с использованием программного обеспечения и подходов, описанных в работе [1]. В качестве начального приближения до глубины 40 км был использован скоростной разрез (рис. 2), ранее полученный в работах [3, 4] по результатам проведения ГСЗ на территории ВКМ от регистрации промышленных взрывов.

На рис. 3 приведен скоростной разрез структуры, полученной в результате инверсии данных. Как видно из рисунка, на глубине порядка 200 м отмечается резкое падение скорости, которое связано с маломощным осадочным слоем. На глубинах 5-12 км отчетливо выделяется слой пониженных скоростей – волновод, который был отмечен в работах Дубянского А.И. [3, 6]. В ранее проведенных исследованиях указывается, что в пределах ВКМ слой пониженных скоростей может иметь существенно разные глубины в различных структурно-формационных зонах ВКМ [5].



Рис. 2 – Скоростной сейсмический разрез для Р-волн, полученный по результатам ГСЗ вдоль профиля Губкин-Новохоперск

1 – начальная модель среды; 2 – итоговая скоростная модель; 3 – экспериментальная Р RF; 4 – синтетическая Р RF, рассчитанная по начальной модели; 5 – синтетическая Р RF, рассчитанная по выходной модели Рис. 3 – Результаты инверсии и полученная скоростная модель ВКМ

По результатам инверсии можно выделить две контрастные границы на глубинах 27 и 37.5 км. Сопоставляя полученную скоростную модель со скоростным сейсмическим разрезом, полученным по результатам ГСЗ от промышленных взрывов вдоль профиля Губкин-Новохоперск, который является наиболее близким к сейсмической станции «Сторожевое», можно увидеть, что практически все выделенные границы в результате инверсии находят свое подтверждение.

Можно отметить, что граница «Мохо», выделенная ранее по результатам ГСЗ на глубине порядка 45 км, в результате инверсии суммированной функции приемника в скоростной разрез проявилась в виде массивного переходного слоя. В работе [5] отмечается, что «переход кора – мантия в различных частях ВКМ имеет различный характер: это резкая граница со значительным скачком скорости или переходный слой мощностью до 10 км».

В результате работы можно сделать вывод, что в целом метод приемных функций обменных Р-волн подтверждает результаты ранее проведенного ГСЗ.

Авторы выражают благодарность за помощь в написании работы и за консультации Саниной И.А и Косареву Г.Л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kosarev G. L., Makeeva L. I., Vinnik L. P. Inversion of teleseismic P-wave particle motions for crustal structure in Fennoscandia // Phys. EarthPlanet. Inter. 1987. V.47. P. 11-24.
- Геотраверс «Гранит»: Восточно-Европейская платформа Урал Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований) / Под ред. С. Н. Кашубина. Екатеринбург, 2002. 312 с.
- 3. Дубянский А. И. Глубинное строение Воронежского кристаллического массива по данным взрывной сейсмологии / Автореферат, диссертация, канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1984. 21 с.
- Дубянский А. И., Калинина Э. В. Региональные скоростные модели Р- и S-волн для интерпретации локальных и региональных сейсмических событий в условиях ВКМ // Материалы 18 Международной научно-практической конференции «Геологическая среда, минерагенические и сейсмотектонические процессы». 2012. С. 112-116.
- 5. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. Кн.1. Землетрясения. 381с.
- 6. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / Гл. ред. член.-корр. РАН Н. М. Чернышов. Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2012. 330 с.
- 7. Сеть сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива / Надежка Л. И. [и др.] // Материалы четвертой международной сейсмической школы. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2009. С. 117-122.

THE STRUCTURE OF THE LITHOSPHERE OF VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF USING THE METHOD OF RECEIVER FUNCTIONS ACCORDING TO THE DATA SEISMIC STATION "STOROZHEVOE"

^{1,2,3}Eleonora V. Kalinina, ³Andrei G. Goev ¹VSU, c. Voronezh, ²GS RAS, c. Voronezh, ³IDG RAS, c. Moscow elakalinina@gmail.com, andr.goev@gmail.com

Summary: The paper presents the results of the study of the structure of the lithosphere of the Voronezh crystalline massiv, using the receiver function method according to the data of the seismic station "Storozhevoe". As a result a high-speed cut to a depth of 50 km was obtained.

Keywords: earthquake, lithosphere, method of receiver functions, exchange waves.

УДК 550.34.06 УТОЧНЕННЫЙ КАТАЛОГ СЕЙСМИЧНОСТИ КАРЕЛИИ ЗА 2005 – 2016 ГГ.

^{1,2}Конечная Яна Викторовна, ³Зуева Ирина Александровна, ²Федоренко Ирина Валентиновна ¹ФИЦ ЕГС РАН, ²ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск, ³ИГ Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск yanakon@mail.ru, ek92wa@mail.ru, arh-seismo@yandex.ru

Аннотация. На основе всех доступных сейсмологических данных создан уточненный каталог современной сейсмичности Карелии за период 2005– 2016 гг. С помощью отработанных методов проведено переопределение параметров эпицентров выявленных землетрясений и получена карта современной сейсмичности Карелии.

Ключевые слова: Сейсмичность, сейсмическая станция, землетрясение, эпицентр, Карелия.

Беломорский регион, включающий в себя акваторию Белого моря и окружающую территорию (к которой относится и территория Республики Карелия), принадлежит к одному из наиболее раздробленных, подвижных и активных районов в пределах всей Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Отчетливые следы палеоземлетрясений встречены во всех основных частях Беломорского региона – в Кандалакшском заливе, в Двинском заливе, в Онежском заливе, а также в районе Горла Белого моря [5]. Данные за исторический и инструментальный периоды наблюдений указывают на повышенную сейсмическую активность западной части региона, особенно в районе Кандалакшского грабена, главной активной структуры Белого моря [2, 4]. Определенный интерес представляют и прилегающие территории суши, на которых ведется активная добыча полезных ископаемых.

С развитием сейсмических сетей на территории Карелии [6] и Архангельской области [7], Беломорский регион с 2004 г. имеет наибольшую плотность сейсмометрических наблюдений за весь инструментальный период. Однако совместная обработка данных до настоящего времени не проводилась. Таким образом, актуальным стал вопрос совместной обработки имеющихся данных. Это позволяет определять параметры гипоцентров землетрясений на основе данных сейсмических станций, расположенных в широком азимутальном створе и диапазоне эпицентральных расстояний. Кроме того, для части территории Беломорского региона такие исследования уже были успешно проведены [3], и принято решение расширить район исследования на территорию Республики Карелия.

На основе данных Института сейсмологии Университета города Хельсинки (Финляндия) [10] для Карелии был составлен предварительный каталог землетрясений в Беломорском регионе за период с 2005 по 2016 гг. Преимуществом каталога [10] является не только наличие низкомагнитудных событий, но отметка о предполагаемой природе события (землетрясение или техногенный характер), что позволило на первом этапе исключить попадание карьерных взрывов в формируемые бюллетени. Выборка событий осуществлялась в пределах рассматриваемого района, ограниченного координатами: по широте от 60° с.ш. до 67° с.ш.; по долготе от 29° в.д. до 35° в.д. Для исследуемого района за 2005-2016 гг. в предварительный каталог были выбраны 66 землетрясений с магнитудами $M_L(HE)$ от 0.4 до 2.4. Причем, всего три землетрясения имеют магнитуду больше значения 2.0.

Для каждого землетрясения из предварительного каталога составлялся сводный бюллетень с временами вступлений сейсмических фаз. Бюллетени составлялись на основе данных сейсмических станций Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики РАН (код сети АН), Геологического института Карельского научного Центра РАН, Центрального отделения Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (код сети OBGSR), Института сейсмологии Университета города Хельсинки (Финляндия, код сети HE), Геофизической обсерватории Соданкюля Университета г. Оулу (Финляндия, код сети FN), агентства NORSAR (Норвегия, код сети NO), Норвежской национальной сейсмической сети (Университет г. Бергена, Норвегия, код сети NS). Стоит отметить, что данные отечественных станций (сети АН, ГИ КарНЦ РАН, ФИЦ ЕГС РАН) дополнены для 34 событий из предварительного каталога. Район исследования и расположение сейсмических станций в нем показаны на рис 1.



Рис. 1. Район исследования и сейсмические станции, участвовавшие в обработке

Определение параметров гипоцентров на основе сводных бюллетеней производилось методом Generalized beamforming [11] в усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS [9, 1]. В предыдущих исследованиях было показано [3], что применение усовершенствованного алгоритма, реализованного в программе NAS, в совокупности со скоростной моделью BARENTS дают достаточно точные параметры гипоцентров и позволяют применять данную методику для пересчета всех последующих землетрясений в Беломорском регионе. Полученное переопределение гипоцентров кардинально не отличается от данных каталога Института сейсмологии Хельсинки, несмотря на обширное использование дополнительных данных.

Кроме переопределения координат гипоцентров дополнительно были проведены исследования по определению природы событий на основе исходных данных отечественных сейсмических станций. Все события из предварительного каталога были проверены с помощью критерия распознавания [8], разработанного в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН. В итоге из списка были исключены 3 события, определенные как взрывы, а окончательный каталог с переопределенными гипоцентрами содержит 63 землетрясения. Пространственное распределение эпицентров в исследуемом районе представлено на рисунке 2. Анализ карты на рисунке 2а показывает, что все землетрясения сосредоточены в северной части обозначенного района, на континентальной части Карелии и имеют преимущественно субширотное простирание от 65°с.ш. до 67°с.ш. Полученные данные были дополнены результатами исследования [3]. Согласно рисунку 26, современная сейсмичность Беломорского региона сосредоточена, в основном, в его западной части – Кандалакшском заливе и прилегающих к нему территориях, относящихся к Карелии.



Рис. 2. Карта уточненных эпицентров землетрясений: а – территория Карелии; б – Беломорский регион [6]

Представленные в статье результаты подтверждают наличие сейсмичности (в основном низкомагнитудной, с ML<2.0) на территории Республики Карелия. Этот факт стоит принимать во внимание при проведении сейсмического мониторинга региона. Полученный уточненный каталог является важной частью работы, проводимой по уточнению современной сейсмичности севера ВЕП, и должен войти в единый сейсмический каталог землетрясений ВЕП нового поколения, объединяющий землетрясения за исторический и инструментальный периоды.

Авторы благодарят за консультации и поддержку исследования сотрудников ФИЦ ЕГС РАН к.т.н. Морозова Алексея Николаевича и к.ф.-м.н. Асминга Владимира Эрнестовича, а также к.ф.-м.н. Ассиновскую Бэлу Александровну за предоставленные данные сейсмических станций.

Исследования по уточнению параметров гипоцентров землетрясений выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-35-00021 «Современная сейсмичность Беломорского региона»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования / Асминг В. Э. [и др.] // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. XII Международной сейсмологической школы / Отв. редактор А. А. Маловичко. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 33-36.
- Ассиновская Б. А. Инструментальные данные о землетрясениях Карельского региона // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н. В. Шарова. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2004. С. 213-229.
- Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI века на территории России: материалы XXI Научно-практическойЩукинскойконференциис международным участием (г. Москва, 1-4 октября 2018 г.) / Ред.: Е. А. Рогожин, Л. И. Надежка. М. : ИФЗ РАН, 2018. С. 233-238.

- 4. Никонов А. А. Исторические землетрясения // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н. В. Шарова. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2004. С. 192-213.
- Никонов А. А., Шварева С. В. Голоценовая тектоническая активность и сейсмичность Беломорского бассейна // Тезисы доклада на заседании Палеосейсмологического семинара ИФЗ РАН от 16 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ifz.ru/fundamental/tektonicheskaja-aktivnost-belomorskogobasseina/ (дата обращения: 21.01.2019).
- Сейсмичность Карелии / Шаров Н. В. [и др.] // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Кн.1: Землетрясения. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. С. 193-207.
- Юдахин Ф. Н., Французова В. И. О необходимости создания сети сейсмического мониторинга в северных регионах России // Екатеринбург : Журнал «Вестник УрО РАН». 2006. № 2 (16). С. 25-35.
- 8. Asming V. E., Kremenetskaya E. O. Study of applicability of P/S ratio criterion for discrimination of regional earthquakes and explosions in North-Western area, observed characteristics of regional seismic phases and implications for P/S discrimination in the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2002. V. 159(4). P. 701-719.
- 9. Asming V., Prokudina A. System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL. ESC 2016-373, 35th General Assembly of the European Seismological Commission. 2016.
- Institute of Seismology (University of Helsinki) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/norBull.html (дата обращения: 21.01.2019).
- 11. Ringdal F., Kværna T. A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // Bulletin of the Seismological Society of America, 1989. Volume 79 (6). P. 1927-1940.

RELOCATED SEISMIC EVENTS IN THE KARELIAN SEISMICITY CATALOG FOR THE PERIOD 2005 - 2016

^{1,2}Yana V. Konechnaya, ³Irina A. Zueva, ²Irina V. Fedorenko ¹GS RAS, ²FCIARctic RAS, Arkhangelsk, ³ IG KarRC RAS, Petrozavodsk yanakon@mail.ru, arh-seismo@yandex.ru, ek92wa@mail.ru

Summary. On the basis of all available seismological data, a relocated event catalog of modern seismicity of Karelia for 2005–2016 has been created. Earthquake epicenter parameters were redefined using proven methods. A map of modern seismicity of the Karelia has been created.

Key words: Seismicity, seismic station, earthquake, epicenter, Karelia.

УДК 3179 ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ С УЧЕТОМ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Котельников Владимир Вячеславович Тюменский Индустриальный Университет, г. Тюмень vovadin95@mail.ru

Аннотация. Известно, что каротажные кривые можно использовать для выявления условий осадконакопления и классификации горных пород по фациям. В этой работе рассмотрены зависимости «керн-керн» с разделением образцов керна на фации с целью проверки получения разных петрофизических зависимостей для каждой фации.

Ключевые слова: фация, пелитизация, гидратация, хлоритизация, сидеритизация, кальцитизация, песчаник, алевролит.

Терригенные горные породы – сложные минеральные образования. Разнообразие вещественного состава, структуры и текстуры этого типа пород в природе обусловлено различием палеогеографических условий осадконакопления. Для анализа детального литофациального анализа кернового материала пластов AB₁³ и AB₂ в настоящей работе были использованы описания 161 шлифа по 15 скважинам (3 скважины – Покачевского месторождения, 12 скважин – Нивагальского месторождения) и их электрокаротажные характеристики [1, 2].

Для пластов AB₁³ были определены основные группы фаций (прибрежноморские):

1 – устьевые бары;

2 – дельтовый комплекс небольших рек;

3 – промоины разрывных течений;

4 – головные части разрывных течений;

5 – приливных течений.

Для пластов AB₂ были определены основные группы фаций (континентальные):

1 – русловые отложения (включая русла спрямленных рек);

2 – дельтовый комплекс небольших рек (меандрирующие реки);

3 – пляж (прибрежная равнина);

4 – пойменные отложения.

Фация устьевых баров (пласт AB₁³).

Отложения представлены переслаиванием песчаников и алевролитов. Текстура пород преимущественно однородная. Цементирующая часть коллекторов представлена глинисто-карбонатным, карбонатным материалом. Для устьевых баров характерно наличие незначительного количества углисто-слюдистого материала (УСМ). Тип цемента поровый, пленочный. В устьевых барах алевролиты заглинизированы, аргиллиты слюдистые. По составу породы полевошпатово-кварцевые, с преобладанием кварца до 62 %, полевых шпатов до 22 % и примесным содержанием обломков пород и слюд (рисунок 1). Увеличение пористости определяется содержанием в породе фракций 0.25-0.2; 0.2-0.1 мм. Основной вклад вносят частицы с размером 0.16 мм. Величина пористости возрастает с уменьшением величины обломков и степени их сортировки. Наличие крупных фракций 0.4-0.315 мм и глинистых фракций уменьшает пористость. Видимо частицы минимального размера укладываются в поровом пространстве более

крупных частиц. При этом содержание обломочной части в скелете составляет в среднем 96 %, цемента – 4 %. Из вторичных процессов для устьевых баров характерны регенерация кварца и кальцитизация (рисунок 1). На начальном этапе развития данных процессов уменьшается количество мелких пор, развивается пленочная регенерация – все это приводит к уменьшению количества связанной воды.



Рис. 1. Вторичные изменения пород пласта AB₁³ – фация баровых тел, промоин разрывных течений и головных частей разрывных течений

Фация разрывных течений (пласт AB₁³).

Песчаники мелкозернистые, однородные, слабо карбонатные. Алевролиты крупнозернистые, песчанистые, однородные, иногда наблюдаются включения доломита. Аргиллиты слюдистые. Породы характеризуются переслаиванием песчаников и алевролитов. Текстура пород однородная, слоистая, за счет намывов глинистого вещества. По текстуре отложений отличается от фации баров большей слоистостью. Цемент преимущественно карбонатно-глинистый. Распределение цемента – поровое, пленочнопоровое, пленочное. Пленки цемента представлены хлоритом, поры выполнены каолинитом, карбонатом, доломитом. По цементу отличается от фации баров присутствием доломита и увеличением доли глинистой составляющей. По минеральному составу породы полимиктовые, с преобладанием кварца до 40-47 %, полевых шпатов до 29 % и примесным содержанием обломков пород и слюд. Для пластов данной группы фаций основной вклад в содержание фракций вносят частицы с размером 0.16-0.1 мм, хотя в значительном количестве присутствуют частицы с большим размером. В фации разрывных течений присутствуют как пласты с хорошей сортировкой, относительно тонкозернистые (промоины разрывных течений), так и пласты с худшей сортировкой, приуроченные к бортам и головным частям разрывных течений. Более крупные частицы осаждались сразу от области сноса, а головные части течений представлены в основном алевролитами и постепенно переходят в глинистые пласты. Содержание обломочной части в скелете для фации промоин разрывных течений по сравнению с фацией баров снижается до 86.5-89 %, цемента – увеличивается до 11-13.5 %. Из вторичных процессов наибольшее развитие получили пелитизация, гидратация биотита (рисунок 1), хлоритизация (особенно для головных частей разрывных течений). Кроме того, по сравнению с фацией баров данный вид отложений обогащен органическим веществом более чем в два раза.

Фация русел меандрирующих рек (пласт АВ₂).

Продуктивные пласты данной группы представлены толщей переслаивающихся песчаников, алевролитов и аргиллитов. Песчаники мелкозернистые, однородные, слюдистые. Текстура пород косая, волнистая. Алевролиты крупнозернистые с углистыми намывами. По составу породообразующих минералов коллекторы относятся к полимиктовому типу с содержанием кварца 42-45 %, полевых шпатов 30 %, второстепенных обломков пород до 24-28 % и примесных слюд. Цемент коллекторов глинистый с примесью карбонатных и железисто-титанистых компонентов. Основной минерал цемента – каолинит, который в данных песчаниках характеризуется поровым, неполнопоровым, иногда – базально-поровым распределением. Максимальное содержание каолинита приурочено к мелко- и среднезернистым песчаникам. В гранулометрической характеристике наибольший вклад фракции с размером 0.16-0.1 и 0.2-0.16 мм. Содержание обломочной части в скелете для фации меандрирующих рек 90-92 %. Глинистость имеет среднее значение 8-10 %. По описанию шлифов основная масса зерен полевых шпатов неравномерно пелитизирована и серицитизирована. Хлоритизация слабо развита в русловой части спрямленных рек. Слюды гидратированы (рисунок 2).



Рис. 2. Вторичные изменения пород пласта AB₂ – фация русел меандрирующих и спрямленных рек, пойм

Фация пойм (пласт АВ₂).

Представлена частым переслаиванием маломощных прослоев песчаников, алевролитов и аргиллитов. Алевролиты мелко- и среднезернистые, заглинизированные, содержащие растительные остатки. Песчаники мелкозернистые с остатками растительного детрита, прослоями углей, слюдистые, заглинизированные. Встречаются линзы и скопления глобулей сидерита, глауконита. Песчаники серицитизированные, в ряде случаев сидеритизированные. Характерная особенность – отпечатки растительных остатков. Слоистость горизонтальная, волнистая, обусловленная намывами углистослюдистого материала.

По составу породообразующих минералов коллекторы относятся к полимиктовому типу с содержанием кварца 46 %, полевых шпатов 33 %, второстепенных обломков пород до 18 % и примесных слюд. Полевые шпаты обычно изменены вторичными процессами средней степени. Цемент преимущественно глинистый, карбонатноглинистый. Распределение цемента неравномерное: поровое, неполно-поровое (гидрослюда), пленочное и крустификационное (хлорит). Содержание обломочной части в скелете для песчано-алевритовых отложений фации пойм по сравнению с фацией русел снижается до 88 %, цемента – увеличивается до 12 %. Основное влияние на увеличение пористости и проницаемости оказывает фракция с размером частиц 0.1-0.05 мм, водонасыщенность уменьшается при наличии фракций 0.16-0.1 мм. По описанию шлифов из вторичных преобразований для отложений пойм наиболее характерны хлоритизация и гидратация слюд, что будет приводить в дальнейшем к увеличению связанной воды (рисунок 2).

Сопоставление петрофизических зависимостей типа «керн-керн» было проведено по данным исследований фаций на основе описания шлифов по 15 скважинам (рис. 3 а-г). Как видно из рисунка 3 а-г, изменения петрофизических зависимостей по фациям не происходит.



Рис. 3. Сопоставление проницаемости и пористости для пластов: a) AB₁³; б) AB₂; проницаемости и водоудерживающей способности для пластов: в) AB₁³; г) AB₂; Шифр: 1 – бары (русла для AB₂), 2 – дельты (меандрирующие реки – AB2), 3 – промоины разрывных течений, 4 – головные части разрывных течений (поймы – для AB₂)

Для данных отложений возможно использование единых уравнений. Различия во вторичных изменениях контролируется изменениями водоудерживающей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Изотова Т. С., Денисов С. Б., Вендельштейн Б. Ю. Седиментологический анализ данных промысловой геофизики. М. : Недра, 1993. 176 с.
- 2. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел литологических ловушек нефти и газа. Л. : Недра, 1984. 260 с.

JUSTIFICATION OF QUANTITATIVE CRITERIA FOR THE ALLOCATION OF RESERVIOS ACCORDING TO THE KITHOFACIES ANALYSIS OF TERRIGENOUS SEDIMENTS

Vladimir V. Kotelnikov Industrial University of Tyumen, Tyumen vovadin95@mail.ru

Summary. It is known that logs can be used to identify sedimentation conditions and classify rocks by facies. In this paper, the «core-core» dependencies

were considered with the separation of core samples into facies in order to verify the production of different petrophysical dependencies for each facies. **Key words:** facies, pelitization, hydration, chloritization, sideritization, calcitization, sandstone, siltstone.

УДК 550.836 ГЕОТЕРМИЯ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ОСТАНИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

¹Крутенко Даниил Сергеевич, ²Галиева Маргарита Фаритовна Томский политехнический университет, г.Томск ¹dsk37@tpu.ru, ²Margaritagalieva@gmail.com

Аннотация. Построена схематическая карта глубинного теплового потока территории Останинской группы месторождений углеводородов Томской области. Корреляция аномалий теплового потока и положения месторождений показывает возможность рассматривать геотермический критерий в качестве поискового.

Ключевые слова: тепловой поток, нефтегазоносность, Томская область.

Введение. Геотермические условия недр оказывают определяющее влияние на процессы преобразования органического вещества, протекание нефтегазообразования, условия формирования и сохранения залежей углеводородов (УВ). Основополагающий вклад в формирование геотермии как нефтепоискового метода отражен в работах А.Р. Курчикова [6 и др.] и М.Д. Хуторского [7 и др.], находит свое развитие в исследованиях Томской школы геотермиков [2, 3, 5 и др.].

Цель исследований – на примере Останинской группы месторождений изучить закономерности изменения глубинного теплового потока, оценить корреляцию аномалий теплового потока с локализацией месторождений УВ и сформулировать возможные поисковые геотермические критерии.

Краткая характеристика объекта исследований. Территория исследования расположена в Парабельском районе Томской области между реками Чузик и Чижапка (рис. 1). Месторождения нефти и газа приурочены главным образом к верхнеюрским песчаным резервуарам горизонта Ю₁, залежи УВ сконцентрированы в антиклинальных, тектонически-экранированных ловушках верхней, средней юры и в нефтегазоносном горизонте зоны контакта палеозойских и мезозойских отложений [1]. Залежи кровельной части пород фундамента приурочены к метасоматически измененным органогенным известнякам, представляющим собой коллекторы порово-трещинного типа.

По отложениям платформенного чехла исследуемый район находится в зоне сочленения двух структур первого порядка: Нюрольской мегавпадины и Пудинского мегавала [4]. Юрские отложения с перерывом в осадконакоплении и с угловым несогласием залегают на эрозионной поверхности палеозойских карбонатных пород девонанижнего карбона.

О методике исследований. По распределению «наблюденных» температур в скважине методом палеотемпературного моделирования [3] рассчитали тепловой поток через поверхность основания осадочного разреза, то есть решили обратную задачу геотермии. В качестве «наблюденных» использовали измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин, данные ОГГ (термометрия выстоявшейся скважины) и палеотемпературы, определенные по отражательной способности витринита



Рис. 1. Обзорная схема Останинской группы нефтегазовых месторождений Томской области: 1 – контур месторождения УВ; 2 – площадь бурения; 3 – скважина палеотемпературного моделирования; 4 – речная сеть

(ОСВ) (табл. 1). Для каждой скважины была построена модель с учетом векового хода температур земной поверхности, литологии, времени накопления и мощности свит.

Результаты палеотемпературного моделирования. Расчеты были выполнены для разреза 35 поисково-разведочных и 2 параметрических скважин на территории исследования (рис. 1). Замеры пластовых температур преимущественно приурочены к юрским отложениям. В таблице 1 приведено соответствие модельных температур с пластовыми и определенными по ОГГ и ОСВ. Как видно, расчетная модель распределения тепла в осадочном разрезе оптимально согласуется с «наблюденными» значениями, на уровне ±2.

Таблица 1

				Рассчитанный				
№ п/п Скважина	Глубина, м	Пла- стовая	По ОСВ	По ОГГ	Модельная (расчетная)	Разница расчетной и измеренной	тепловой по- ток, мВт/м ² / глубина, м	
	2070710	2530	87	-	-	88	+1	51
1	Бападно- Остоинискод 440	2495	87	-	-	86	-1	31 /2750
	Останинская 440	2512	87	-	-	87	0	72750
2	Западно-	2510	87	-	-	87	0	51
2	Останинская 447	2512	87	-	-	87	0	/2790
		2839	106	-	-	102	-4	54
3	Останинская 424	2494	89	-	-	91	+2	
		2541	90	-	-	92	+2	/2000
		2515	88	-	-	90	+2	52
4	Останинская 425	2700	100	-	-	96	-4	23 /2925
		2776	-	112	-	114	+2	/2823
5 Останинская 42		2000	-	-	70	72	+2	
	Останинская 428	2400	-	-	84	85	+1	50
		2500	-	-	90	88	-2	52 /2750
		2510	86	-	-	89	+3	/2/30
		2680	-	-	97	94	-3	

Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважинах

							r wooning with	пределяющие
6 Останинская 438		2704	-	115	-	115	0	
		2570	94	-	-	94	0	54
	2512	94	-	-	92	-2	/2750	
		2119	77	-	-	79	+2	
		2538	-	103	Ī	106	+3	
7	Останинская 452	2556	_	107		107	0	52
		2895	_	120		118	-2	/2895
		2541	-	117	-	115	-2	
		2576	-	115	-	116	+1	
	Северо-	2629	-	115	-	118	+3	58
8	Останинская 1	2425	95	-	-	95	0	/2645
		2555	101	-	-	99	-2	
	-	2388	93	-	-	93	0	
	Северо-	2829	106	-	-	106	0	55
9	Останинская 8	2831	105	-	-	106	1	/2840
4.0	Северо-	2783	-	120	-	120	0	56
10	Останинская 9	2784	-	120	-	120	0	/2800
	Северо-	2773	-	115	-	117	+2	54
11	Останинская 7	2782	-	119	-	117	-2	/2790
	Северо-							47
12	Останинская 11	2776	-	105	-	105	0	/2790
12	A	2480	-	115	-	116	+1	61
15	Армичская 1	2540	-	120	-	119	-1	/2900
14	Гордеевская 1П	2874	-	120	-	120	0	52 /3280
		2590	-	96	-	102	+6	
		2593	84	-	-	84	0	48 /3040
1.5		2682	86	-	-	87	+1	
15	Гамоаевская Г	2754	87	-	-	89	+2	
		2936	98	-	-	94	-4	
		2984	100	-	-	96	-4	
16	Пельгинская 1	2630	89	-	-	89	0	50 /3020
		2588	-	98	-	98	0	
		2595	-	98	-	98	0	
17		2597	-	98	-	98	0	45
1/	Пельгинская 2	2605	-	98	-	98	0	/3040
		2610	-	98	-	98	0	
		2615	-	99	-	99	0	
		2615	-	106	-	107	+1	
		2630	-	106	-	107	+1	
18	Пельгинская 3	2640	-	109	-	108	-1	50
10		2729	-	111	-	110	-1	/2970
		2766	-	112	-	112	0	12910
		2822	-	113	-	113	0	
	Commerce	2255	84	-	-	87	+3	57
19	Селимхановская	2265	89	-	-	87	-2	/2/130
	2	2360	91	-	-	90	0	/2430
20	Селимхановская 4	2455	-	98	-	98	0	51 /2480
	0	2247	92	-	-	89	-3	50
e21	Селимхановская	2299	89	-	-	91	+2	59
	3	2330	92	-	-	92	0	/2480

Таблица 1. Продолжение

		2579	90	-	-	89	-1	
		2623	90	-	-	90	0	
22	сельвейскинская	2808	96	-	-	94	-2	41
22	2	2904	96	-	-	97	+2	/2900
		2909	96	-	-	97	+2	
	-	2947	96	-	-	98	+2	
		2549	-	91	_	93	+2	
23	Сельвейкинская 3	2648	-	92	-	95	+3	44
		2798	-	104	-	99	-5	/2800
		2190	-	101	-	,,,	5	40
24	Сельвейкинская 4	2812	-	92	-	92	0	/2810
		2570	-	104	-	104	0	,
25	Герасимовская 6	2596	-	103	-	105	+2	52
20	r epuennobenun o	2859	_	115	-	113	-2	/2870
		2565	87	-		80		51
26	Герасимовская 7	2303	96			9/	-2	/2740
		2586	70	110	-	100	1	72710
	-	2380	- 100	110	-	109	-1	
27	Canacin concision 12	2713	100	- 119	-	102	+2	55
21	Герасимовская 12	2191	-	110	-	110	-2	/2840
	-	2821	-	110	-	117	-1	
		2838	-	11/	-	118	+1	
	-	2214	-	-	72	75	+3	
•	F 10	2387	-	-	77	80	+3	49 /2890
28	Герасимовская 18	2528	-	-	82	84	+2	
	-	2541	-	-	83	84	+1	
		2878	102	-	-	95	-7	
	-	2754	94	-	-	97	+3	
	Герасимовская	2770	94	-	-	97	+3	52
29	(Западно-	2810	95	-	-	99	+4	/2860
	Останинская 444)	2795	-	118	-	113	-5	,2000
		2840	-	120	-	115	-5	-
30	Мирная 413	2507	100	-	-	100	0	59
	inipitai ite	2007	100			100		/2810
		2328	81	-	-	83	+2	53
31	Мирная 414	4 2510 89	89	0	/2650			
		2593	94	-	-	92	-2	72050
22	Murana 415	2356	98	-	-	100	+2	62
32	Мирная 413	2560	109	-	-	107	-2	/2690
22	Пининина 1	2540	105			105	0	61
33	пинджинская т	2540	105	-	-	105	0	/2890
24	П	2520	107		-	107	0	63
34	Пинджинская 4	2530	107	-	-	107	0	/2595
	Пинджинская 5	2528	-	111	-	109	-2	53 /2885
35		2546	-	109	-	109	0	
		2808	-	116	-	118	+2	
36	Рыбальная 405	2400	98	-	-	98	0	60 /2590
		2415	108	-	-	106	-2	
37	Рыбальная 408	2425	105	-	-	106	+1	65 (2500
		2450	106	-	-	107	+1	/2590

Таблица 1. Продолжение

На карте распределения глубинного теплового потока (рис. 2) наблюдаются следующие аномальные особенности: «положительная аномалия», «отрицательная аномалия», «заливообразная конфигурация изолиний» [5]. Анализ корреляции теплового потока и положения 9 месторождений УВ показывает следующее. Месторождения УВ расположены по обрамлению крупной положительной аномалии в восточной части карты (Рыбальное, Селимхановское, Пинджинское, Мирное, Останинское, Северо-Останинское месторождения), что составляет 67 % от общего числа месторождений на изучаемой территории. В зоне отрицательной аномалии теплового потока в северозападной части карты месторождения отсутствуют. В зоне заливообразной конфигурации изолиний находится 3 месторождения (33 %) – Пельгинское, Герасимовское, Западно-Останинское.



Рис. 2. Схематическая карта плотности теплового потока Останинской группы месторождений УВ: 1 – скважина и расчетное значение теплового потока (мВт/м²); 2 – изолинии значений плотности теплового потока. Остальные условные обозначения те же, что к рис. 1

Выводы

- 1. Путем решения обратной задачи геотермии в 37 глубоких скважинах рассчитаны значения плотности теплового потока и построена схематическая карта глубинного теплового потока изучаемой территории.
- 2. Все 9 месторождений УВ, расположенных на изучаемой территории, приурочены к аномальным особенностям распределения глубинного теплового потока. Это позволяет рассматривать возможность применения геотермического критерия в качестве поискового.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Белозеров В. Б., Гарсия Бальса А. С. Перспективы поиска залежей нефти в отложениях девона юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т.329. №6. С.128-139.
- 2. Исаев В. И., Галиева М. Ф., Крутенко Д. С. Геотермический критерий нефтегазоносности п-ва Ямал // Вестник РАЕН (ЗСО). 2018. Вып. 21. С. 3-9.
- 3. Районирование мегавпадин юго-востока Западной Сибири по плотности ресурсов сланцевой нефти тогурской и баженовской материнских свит / Исаев В. И. [и др.] // Геология нефти и газа. 2018. № 1. С. 15-39.
- 4. Модель геологического строения И нефтегазоносность зоны контакта мезозойских Чузикско-Чижапской палеозойских И отложений В зоне нефтегазонакопления / Конторович В. А. [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. №5-6. С. 91-102.
- Крутенко Д. С., Галиева М. Ф. Глубинный тепловой поток и нефтегазоносность Ямала // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Том 1. Томск : Изд-во ТПУ, 2018. С. 410-411.
- 6. Курчиков А. Р. Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности. М. : Недра, 1992. 231 с.
- 7. Хуторской М. Д. Введение в геотермию: курс лекций. М. : Изд-во РУДН, 1996. 156 с.

GEOTHERMY AND OIL-AND-GAS POTENTIAL OF OSTANINO GROUP OF DEPOSITS

¹Daniil S. Krutenko, ²Margarita F. Galieva Tomsk Polytechnic University, Tomsk ¹dsk37@tpu.ru, ²Margaritagalieva@gmail.com

Summary. Sketch map of deep heat flow plotted within the territory of Ostanino group of deposits. Heat flow anomalies and locations of hydrocarbon deposits correlating confirms the opportunity to consider geothermal criterion as a prospecting criterion.

Key words: deep heat flow, oil-and-gas potential, Tomsk region.

УДК 550.8.08 ОБОСНОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

¹Кузнецова Анна Михайловна, ²Брюханова Екатерина Вячеславовна ФГБОУ ВО ТИУ, г. Тюмень ¹kuznetsovaa.m@inbox.ru, ²ekaterinabriuhanova@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается возможность применения перспективного метода оценки количества заряда в объеме воды связанного и свободного состояния образцов горных пород.

Ключевые слова: методика измерения УЭС, комплексное сопротивление, емкостные ячейки.

Измерение удельного электрического сопротивления является основополагающим исследованием свойств горных пород, определяемым непосредственной связью УЭС с физическими свойствам составляющих их компонент.

За годы исследований наиболее широкое распространение получили методы измерения, реализованные в схемах определения эквивалентного сопротивления, сравнения, уравновешенных мостов, а также компенсационные методы, позволяющие проводить измерения в лабораторных условиях на образцах различной литологии.

Способы исследования образцов схожи с методами, применяемыми для изучения растворов, вследствие зависимости сопротивления пород от свойств проводимости

электролита. Однако горная порода является многофазной системой, поэтому модель электрического сопротивления не может быть представлена в виде зависимости УЭС только от свойств раствора и должна учитывать влияние твердой фазы, цемента и характера насыщения.

Современная модель сопротивления горных пород предполагает обратную пропорциональность УЭС от свойств насыщающего раствора и его долевого содержания. В свою очередь работами Вендельштейна Б.Ю., Элланского М.М., Л. Смитса, М. Ваксмана и многих других исследователей показано, что проводимость канала связана не только со свойствами гидравлически подвижного объема пор, но и обусловлена влиянием двойного электрического слоя в виде явления поверхностной проводимости.

Использование указанных выше методов ограничивает определение УЭС регистрацией суммарной величины без возможности оценки вклада составляющих проводящей фазы. Однако, сегодня существует возможность учета влияния ДЭС и свободного раствора на сопротивление путем разделения сигнала и проведения исследований на ряде частот [1, 5].

Таким образом, очевидно, что повышение информативности стандартных методов исследования достижимо путем проведения измерения сопротивления с разделением сигнала на составляющие. Это, в свою очередь, позволяет не только количественно оценить вклад различных объемов порового пространства в величину сопротивления, но и определить их электрические свойства.

Погрешности представленных методов при произведении измерений на переменном токе обусловлены влиянием «паразитных» эффектов элементов самой схемы, в том числе проводов, сопротивлением электродов Z_3 и неоднородностью границы между прокладками Z_n , то есть появлением дополнительного контактного сопротивления или электродного потенциала. Полное комплексное сопротивление в таком случае представляется как $Z = 2Z_3 + Z_{oбp} + 2Z_n$. При том общеизвестно, что измерение сопротивления на переменном токе представляет комплексную величину, также определяемую согласно стандартного уравнения:

$$Z = j\omega L + R + \frac{1}{j\omega c} = R + jX.$$
(1)

Из перечисленных методов непосредственное измерение реактивного (X) и активного (R) сопротивления реализовано в методах уравновешенного, квазиуравновешенного и трансформаторного моста, а также компенсационного способа. Во всех методах мнимая часть исключается из итоговой оценки сопротивления, так как обусловлена влиянием помех.

Лопатиным Б.А. были описаны методы бесконтактного измерения, основанные на использовании емкостных или индуктивных ячеек. Последняя была адаптирована для экспрессной оценки водонасыщения керна. Емкостные ячейки для образцов горных пород имеют некоторую вариацию конструкции с целью уменьшения помех от рассеяния электромагнитного поля между обкладками. Примеры конструкций приведены на рис. 1-2 в соответствии с работой Левицкого А.А. и проч. [2].

«Включение» образца в цепь с помощью одного из вида ячеек, обеспечивающих бесконтактное измерение, позволяет исключить влияние электродного потенциала. В таком случае реактивное сопротивление определяется влиянием элементов схемы и собственным реактивным сопротивлением образца, зависимым от его индуктивности и электрической емкости. Помехи схемы исключаются при измерении сопротивления без образца. Успешное применение бесконтактного исследования образцов горных пород описано в работе [1], где авторы определили составляющие комплексной диэлектрической проницаемости с помощью измерений на разных частотах.





Рис.1. Ячейка с электростатическим экраном

Рис.2. Ячейка без защитных экранов

Исходя из вышесказанного, нами предлагается использование мостовой схемы измерения образцов горных (см. рис. 3) с применением емкостной ячейки для определения активного и реактивного сопротивления. По определению эти параметры для пород связанны с неоднородностью физических свойств проводящей фазы в виде, где j, n, q, v – плотность тока, концентрация зарядов, их заряд и скорость соответственно

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{E}{j} = \frac{E}{nqv};$$

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}.$$
(2)
(3)

В общем случае емкость C = q/U и является характеристикой способности накапливать заряд. То есть может быть принята как дифференциальная емкость горных пород, определяемая в соответствии с теорией Штерна как подобно электрическому конденсатору:



Рис.3 Схема уравновешенного моста

$$C_d = -\frac{d^2\sigma}{d(-\varphi)}.$$
(4)

Выражения (2) – (4) показывают в общем случае зависимость частей комплексного сопротивления от электрических потенциалов и плотности заряда прямо или через напряженность электрического поля Е и суммарного заряда поверхности σ [4]. Нахождение концентрации зарядов, диэлектрических проницаемостей и потенциалов в различном объеме порового пространства находятся путем решения системы уравнений, вид которой определяется входными параметрами.

Таким образом, нами предлагается разработка метода оценки электрических свойств ДЭС и свободного раствора путем измерения активной и реактивной состав-

ляющей комплексного сопротивления с помощью емкостной ячейки. Данный способ является перспективным направлениям исследования, на основе которого возможно определение таких петрофизических характеристики как обменная емкость и минерализация в объемах, занятых свободным раствором и двойным электрическим слоем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ельцов Н. И., Голиков Н. А. Измерения комплексной диэлектрической проницаемости образцов коллектора в диапазоне частот от 1 кГц до 1 ГГц // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология. Материалы XII Международного научного конгресса Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. Новосибирск : СГУГиТ, 2016. С.178-182.
- 2. Левицкий А. С., Новик А. И., Кочетков С. И. Емкостные ячейки для измерения диэлектрических характеристик горных пород // Технічна електродинаміка. 2009. № 3. С. 41-46.
- 3. Лопатин Б. А. Кондуктометрия: (Измерение электропроводности электролитов) // Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 1964. 280 с.
- 4. Стромберг А. Г., Семченко Д. А. Физическая химия: учеб. для хим. спец. вузов. 3 изд., испр. и доп. М. : Высшая школа, 1999, 527 с.
- 5. Табарин В. А., Демьянцева С. Д. Определение содержания связанной воды в кернах на СВЧ // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2009. Вып. 1. С. 1-28. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Tabarin/Tabarin_1.pdf (дата обращения 13.01.2019).

SCIENTIFIC BASIS OF NON-CONTACT METHOD OF MEASUREMENT OF ELECTRICAL PROPERTIES OF ROCKS

¹Anna M. Kuznetsova, ²Ekaterina V. Bryukhanova FSBE IHE IUT, Tyumen ¹kuznetsovaa.m@inbox.ru, ²ekaterinabriuhanova@yandex.ru

Summary. The article considers the possibility of applying a promising method for estimating the amount of charge in the volume of bound water and free water of rock samples.

Key words: method of measuring resistivity, impedance, capacitive measurement cells.

УДК 550.34.01

К ВЫБОРУ УРОВНЯ ПРИВЕДЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ МЕТОДОМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН

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

Аннотация. В настоящее время для расчета статических поправок при изучении верхней части разреза широко используются времена первых

волн. Одной из важнейших задач при расчёте поправок является правильный выбор уровня приведения. В рамках данной работы на территории Уньвенской структуры в Соликамской депрессии были рассчитаны статические поправки по данным временных полей первых волн до уровней приведения +50 и +100 метров. Полученные временные разрезы (для разных уровней приведения) не имеют явных различий, что говорит о том, что полученные статические поправки до уровня приведения +50 не улучшили качество временного разреза.

Ключевые слова: сейсморазведка, микросейсмокаротаж, временные поля первых волн, верхняя часть разреза, статические поправки.

Верхняя часть разреза характеризуется большими изменениями скоростных свойств пород, которые необходимо учитывать при проведении сейсмических наблюдений с целью изучения глубинного строения геологического разреза [2, 3].

Для изучения верхней части разреза проводят специальные наблюдения методом преломленных волн, либо скважинными исследованиями: сейсмокаротажом или микросейсмокаротажом [4].

Исследование скважин с помощью микросейсмокаротажа достаточно широко применялось до внедрения многократных систем наблюдений и цифровой обработки. Однако с расширением возможностей использования волн в первых вступлениях и коррекции поправок при обработке этому способу изучения верхней части разреза, требующему дополнительных затрат, уделяется все меньшее внимание, хотя настоятельная необходимость его применения остается, особенно для учета плавных составляющих временных сдвигов [1].

В настоящее время при изучении верхней части разреза широко используются времена первых волн, регистрирующихся в первых вступлениях (начальной части записи) на сейсмограммах общей глубинной точки. На кафедре геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета разработана технология формирования и обработки временных полей первых волн, результатом которой является создание однороднослоистых скоростных моделей в каждой точке наблюдения [5].

Одной из важнейших задач при расчёте статических поправок является правильный выбор уровня приведения. Уровня, на котором перестает проявляться эффект нагрузки от повышенных форм рельефа и изменения литологии пород ВЧР на скорости в подстилающих отложениях. Основное требование – плоская или очень плавная поверхность приведения, предпочтительно горизонтальная плоскость, ниже которой происходит стабилизация скоростей, что особенно важно в условиях Пермского края, где сейсмогеологические условия характеризуются большим разнообразием. По всему разрезу отмечается наличие тонкой слоистости, в том числе пропластков пород с повышенными и пониженными скоростями, хотя в целом отмечается увеличение пластовых скоростей с глубиной, что предполагает образование многих классов головных и рефрагированных волн [6].

В роли объекта исследования была выбрана одна из структур Соликамской депрессии Предуральского краевого прогиба, которая находится в пределах Уньвинского выступа. Исследуемая структура имеет сложное строение пород ВЧР, которые представляют собой слой рыхлых четвертичных отложений, ниже которого залегает слой пестроцветной толщи (ПЦТ), характеризующийся своей скоростной неоднородностью (рис. 1а) и выклиниванием слоя в западной и юго-восточной части территории (рис. 1б). Ввиду всего этого, в рамках данной работы нами было принято решение использовать не только уровень приведения +100 м, что характерно для Пермского края,



но и +50 м, для того, чтобы оценить и учесть с помощью статических поправок неоднородности, которые находятся ниже уровня приведения +100 м (рис. 2).

a)

б) Рис. 1. Карта скоростей в ПЦТ (а), карта мощности ПЦТ (б)



Рис. 2. Карты статических поправок: а) до уровня приведения +100 м; б) до уровня приведения +50 м

В ходе работы были вычислены статические поправки для уровней приведения +100 и +50 м и построены суммарные временные разрезы. На рисунке 2 приведены карты статических поправок. В обоих случаях можно выделить зоны с повышенными значениями в юго-восточной части площади, где отметки рельефа достигают максимальных значений (рис. 2). Принципиальных различий величин статических поправок по картам не выделяется. Кроме того, из графиков статических поправок (рис. 3) видно, что они идеально повторяют форму и лишь смещены относительно друг друга. Это свидетельствует, видимо, о том, что скорости в интервале абсолютных отметок 50 и 100 м изменяются незначительно. Если построить разность величин статических поправок для обоих уровней приведения, то это будет плавная величина, что и характеризует примерное постоянство скоростей в интервале между уровнями приведения.

Построение суммарного временного разреза с вводом статических поправок, полученных до различных уровней приведения, осуществлялось в системе обработки сейсмических данных SeismicProcessingSystemfor PC (Н.А. Голярчук).



Для того чтобы полученные временные разрезы можно было сравнить и оценить, было принято решение использовать один и тот же граф обработки, который включал в себя процедуру автоматической регулировки амплитуд, ввода статических поправок и кинематических поправок. В обоих случаях использовался один и тот же скоростной закон для расчета кинематических поправок.

В результате были получены суммарные временные разрезы (рис. 4). На разрезах можно отчетливо проследить отражающие горизонты. Кроме того, разрезы очень схожи между собой и не имеют явных различий, что говорит о том, что полученные статические поправки до уровня приведения +50 не улучшили качество временного разреза.



Рис. 4. Суммарные временные разрезы: а) уровень приведения +100 м; б) уровень приведения +50 м

Выводы. При выборе глубины уровня приведения для расчета статических поправок для разных площадей необходимо обращать внимание на характер изменения скоростей упругих колебаний ниже подошвы зоны малых скоростей. Соответственно абсолютная отметка уровня приведения должна выбираться исходя из глубины подошвы ЗМС (несколько ниже ее). Для этого можно использовать временные поля первых вступлений. Если различия времен для заданных глубин и соответствующих удалений между пунктами возбуждения и приема меняется слабо, то уровень приведения может соответствовать меньшим глубинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии / Козырев В.С. [и др.]. М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 227 с.
- Кулакова Н. В. Особенности скоростного строения ВЧР Гагаринского месторождения по данным микросейсмокаротажа // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам VII науч-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. / отв. ред. П.А. Белкин. – Пермь: Перм. го с. нац. иссл. университет, 2014. С. 256-259.
- Кулакова Н. В., Вавилова К. А. Построение трехмерной скоростной модели верхней части разреза по временным полям первых волн // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам VI науч-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. / отв. ред. Е.Н. Батурин. Пермь : Перм. гос. нац. иссл. университет, 2013. С. 180-183.
- 4. Митюнина И. Ю., Спасский Б. А., Лаптев А. П. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза / Геофизика, 2003. №5. С. 5-12.
- 5. Спасский Б. А., Митюнина И. Ю. Первые волны дополнительный информационный канал. Их обработка и интерпретация / Вестник Перм. университетата, 2007. Вып. 4 (9). Геология. С. 106-113.
- 6. Спасский Б. А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. 184 с.

THE CHOICE OF THE LEVEL OF COERCION TO CALCULATE STATIC CORRECTIONS IN SEISMIC PROSPECTING BY THE REFLECTED WAVES

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

Summary. Currently, the first wave times are widely used in the study of the upper part of the section. One of the most important tasks in the calculation of static corrections is the correct choice of the level of reduction. Within the framework of this work, static corrections were calculated according to the time fields of the first waves to the levels of reduction of +50 and +100 meters. The obtained time sections have no obvious differences, which suggests that the obtained static corrections to the level of reduction +50 did not improve the quality of the time section.

Key words: seismic, microseismometer, temporal field of the first waves, the upper part of the section static corrections.

УДК 550.8.028 СЕЙСМОФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЕВОНА

¹Курдюков Кирилл Анатольевич, ²Казазян Мартин Гарикович СамГТУ, г. Самара ¹ kurdyukov.1997@inbox.ru, ²kazazyan98@mail.ru

Аннотация. Для установления информации о фациальном составе осадков по данным сейсморазведки мы рассмотрели метод сейсмофациального анализа. Отметим, что интерпретация сейсмического материала выполнялась в интерпретационном комплексе ИНПРЕС-5.1. Для работ интерпретационного этапа был привлечен куб с хорошей динамической разрешенностью и прослеживаемостью целевых горизонтов девона.

Ключевые слова: сейсмика, моделирование, горизонт, толщины, прогноз.

При определении нефтегазоносности месторождения производятся различные виды работ. Для определения литофаций был выполнен сейсмофациальный анализ временного сейсмического куба с использованием геолого-геофизической информации по 80 глубоким скважинам. Анализ проводился на базе программного комплекса OpenWorks® компании Landmark с использованием технологии нейронных сетей, которая позволяет определять, анализировать и интерполировать детальные характеристики коллекторов в интервале прослеживания целевого пласта. В основе нейронных сетей лежит применение самоорганизующейся нейронной сети для распознавания и оценки изменения формы сейсмического сигнала в изучаемом интервале.

Согласно данному методу, выделение сейсмических фаций производится в определенном временном интервале, но не менее 20-30 мс, (40-60 м). Данная градация приводит к включению в интервал анализа многослоистого разреза с чередованием пропластков с разными характеристиками не только по вертикали, но и по латерали, с формированием сейсмофациальной картины всего интервала, а не исследуемого целевого горизонта.

Далее производится построение сейсмофациальных карт, происходящее в три этапа.

На первом этапе реальные трассы в интересующем нас интервале систематизировались по форме. Форма определяется как функция скорости изменения трассы от одного ее отсчета к другому, то есть наклонами отрезков трассы между соседними отсчетами. В связи с этим абсолютные значения амплитуды трассы менее значимы, чем ее форма.

На втором этапе определялись формы модельных трасс (рис. 1). На основании данных ГИС и керна, было принято решение зафиксировать от 2 до 3 (в зависимости от литологического состава, слагающего пласт) различных классов трасс.

На третьем этапе модельные трассы последовательно сравнивались с реальными сейсмическими данными (трасса за трассой) в ПК OpenWorks®. Каждой реальной трассе присваивался номер того модельного класса «сейсмофаций», к которому данная трасса наиболее близка по «критерию идентичности».

© «ГИ УрО РАН», ФИЦ ЕГС РАН, 2019



Рис. 1. Форма записи сейсмического сигнала в зависимости от литологического состава анализируемого интервала

Пласты ДІ, ДІІ приурочены к пашийскому горизонту. Мощность пашийского горизонта на участке меняется от 0 м до 40-70 м. Пласты сложены переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых пород. Коллекторами нефти являются песчаники кварцевые, мелкозернистые, сильно алевритистые до перехода в алевролиты. Покрышками пластов ДІ и ДІІ служат плотные глины и алевролиты, кварцевые с углистоглинистым цементом базального и порового типов.

В результате того, что пласты на территории работ литологически однородны (за исключением зоны ДГП, где наблюдается отсутствие пластов ДІ и ДІІ) и мощность их не превышает 30 м (что противоречит условиям обнаружения в среднечастотной сейсморазведке), определенной зависимости форм сейсмических сигналов от петрофизических характеристик пластов установить не удалось, и полученные карты фаций никакой информативности не несут.

Отличительной особенностью тектонического строения участка является наличие девонского грабенообразного прогиба, который пересекает площадь в субмеридиональном направлении. Формирование прогиба происходило в тиманское время, и в зоне прогиба отмечаются увеличенные мощности верхнетиманских карбонатов, которые выполняют грабен.

Таким образом, зона грабена формирует в разрезах терригенных отложений девонского возраста литологическую неоднородность. На основании вышеизложенного было решено провести сейсмофациальный анализ в интервале D₃tm-AR.

В строении горизонта можно выделить два наиболее характерных типа разреза (рис. 2), отражающих различные литолого-фациальные условия их формирования.

1) Первый тип («грабенный»). Разрезы скважин данного типа представлены увеличенными мощностями верхнетиманских карбонатов (от 18 м до 70 м) и отсутствием в разрезах ряда скважин терригенных отложений вплоть до муллинского горизонта.

2) Второй тип представлен «полноценным» разрезом терригенных отложений и фоновой мощностью верхнетиманских карбонатов (от 8 м до 15 м).

Окончательный результат был получен в виде набора модельных трасс и карты сейсмофаций, которые совместно описывают разнообразие форм сейсмических сигналов по всей площади в заданном интервале.



Рис. 2. Модели двух сейсмофаций интервала D₃tm-AR

Проанализировав полученную информацию, можно условно выделить две зоны: «сине-голубых» и «желто-коричневых» фаций.

Зона №1 «сине-голубых» сейсмофаций (грабенного типа). В эту зону попадают скважины, в разрезах которых по данным ГИС и керна частично отсутствуют (вплоть до отложений муллинского возраста) отложения терригенного девона и увеличена мощность верхнетиманских карбонатов.

К зоне №2 («желто-коричневых» сейсмофаций) можно отнести скважины, в которых по данным керна и ГИС наблюдается «полный» разрез отложений терригенного девона и фоновая мощность верхнетиманских карбонатов.

В итоге мы можем сделать вывод, что Верхнетиманские карбонаты увеличенной мощности накапливались в условиях грабенообразных прогибов, формирование которых было связано с заложением в пашийско-тиманское время палеопрогиба. В результате сейсмофациального анализа прослежены две ветви ДГП, которые ограничивают приподнятую зону. В зону грабена оказалось погружено поднятие, где в разрезах скважин мощность верхнетиманских карбонатов достигает 70 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бондарев В. И. Сейсморазведка учебник для вузов в трех книгах. Книга 2, Екатеринбург, 2006. С. 105-322.
- 2. Корягин В. В. Сейсморазведка. Самара, лекции, прочитанные в СамГТУ с 2000 по 2006 г. 1 электрон. опт. диск. С. 35-38
- 3. Малыхин М. Д. Возможности полевой геофизики. Самара, 2017. С. 185-191.
- Марченкова Л. А. Обоснование целесообразности утилизации попутнодобываемых пластовых вод в поглощающие горизонты на нефтяных месторождениях. Самара, 2018.
- 5. Урупов А. К. Основы трехмерной сейсморазведки. М. : Нефть и газ, 2004. С. 546-556.

DEVONIAN STAGE TERRIGENOUS DEPOSITS SEISMIC ANALYSIS

¹Kirill A. Kurdyukov, ²Martin G. Kazazian Samara State Technical University, Samara ¹kurdyukov.1997@inbox.ru, ²kazazyan98@mail.ru

Summary: Already the article name speaks about the purposes of the procedure stated above – information establishment of facial structure according to seismic exploration. Let's note that interpretation of seismic material was carried out in interpretative INPRES-5.1 complex. On interpretative stage, we use the seismic cube with good dynamic resolution and traceability of the target horizons of Devonian stage.

Key words: seismic, modeling, interface, width, forecast.

УДК: 550.8.028

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПЕТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

¹Курдюков Кирилл Анатольевич, ² Лемешева Дарья Александровна СамГТУ, г. Самара ¹kurdyukov.1997@inbox.ru, ²darya lemesheva@mail.ru

Аннотация. Геофизический, литолого-фациальный и петромагнитный методы исследования при бурении горизонтальных стволов гармонично дополняют друг друга и позволяют получить информацию об изменчивости физико-механических, литологических и магнитных свойств разбуриваемых пород по мере продвижения по стволу скважины, в то время как каждый из этих методов в отдельности не дает удовлетворительных результатов. Проанализировав материал восьми скважин Киняминского месторождения, авторы пришли к выводу о возможном проведении петромагнитных исследований в режиме online на буровой и совместном применении результатов интерпретации двух методов – геофизического и петромагнитного – для геологической навигации скважины.

Ключевые слова: петромагнитные методы исследования, шлам, горизонтальные скважины, геофизические методы.

В титульном листе каротажных диаграмм одной из ведущих высокопрофессиональных иностранных геофизических фирм, занимающейся интерпретацией геофизических исследований скважин при бурении горизонтальных стволов, в комментариях есть обязательная приписка, которая в переводе звучит так: «при интерпретации каротажных диаграмм наши сотрудники предоставляют наиболее обоснованные выводы. Однако, поскольку интерпретация представляет собой мнение, основанное на анализе данных электрических и других измерений, мы не можем гарантировать и не гарантируем точность или правильность любой интерпретации». Эта приписка не случайна. Сложности, возникающие при интерпретации данных геофизического каротажа в горизонтальных стволах, известны. Обоснованы и осложнения при проведении литологофациальных и петромагнитных исследований шлама. Большие скорости проходки (горизонтальные участки стволов исследуемого нами Киняминского месторождения длинной более 750 м бурились меньше чем за сутки); малый размер частичек шлама – в тонкоперетертом шламе межпоровые пространства, содержащие флюиды, по большей степени отсутствуют, поэтому невозможно оценить тип и состав цемента, а также и насыщение пород; малый выход шлама; его неравномерный вынос (вследствие зашламления забоя, в горизонтальном стволе инструмент ложится на стенки скважины), из-за чего затруднена его привязка к глубине. Кроме того, анализ временных и глубинных данных партии геолого-технологических исследований (далее ГТИ) показал, что часто для предотвращения аварийных ситуаций или при ликвидации их последствий в буровой раствор вводились добавки, состав которых установить не представляется возможным, периодически на диаграммах геолого-технологических исследований фиксируются интервалы резко нестабильного режима бурения, при проходке которых происходит корректировка зенитного и азимутального углов – «слайдирование», в меняющемся режиме. Все это тоже является осложняющими факторами, влияющими на качество и количество шлама, а значит, и на результаты петромагнитных исследований.

При сопоставлении данных геофизических исследований скважин с петромагнитными (изучено девять скважин Киняминского месторождения) было выявлено несоответствие литологической разбивки между данными интерпретации ГИС, ГТИ и опорным литологическим разрезом, построенном при литолого-фациальных исследованиях шлама. Увеличение глинистости по ГК не соответствовало интервалам увеличения доли глинистой составляющей в шламе, значения магнитной восприимчивости (каппы) на отдельных участках шли в противофазе с приростом магнитной восприимчивости (термокаппы), что говорит о возможном увеличении количества тонкораспыленного пирита на определенных участках разреза, но при этом не наблюдалось значительной смены литологии породы и наличия пирита в шламе. Связи между повышением значений гамма-каротажа, увеличением глинистости проб в шламе и повышением значений термокаппы выявлено не было, значения каппы по всему интервалу бурения изменялись непредсказуемо, В среднем ПО стволу они составляли около (0.11-0.13)*10⁻⁵ ед. СИ, редко опускаясь до минусовых значений, но в отдельных пробах отмечались сильная анизотропия замеров и большая разница в значениях. Все эти факты требовали объяснений.

Методы ГИС надежны и давно опробованы при бурении любых, даже сильно расчлененных и сложных горизонтов, петромагнитный метод исследования шлама пока еще только разрабатывается специалистами СамГТУ, в том числе и нами [1, 2], поэтому за основу, «константу», был принят радиоактивный каротаж – аномалии ГК выявлялись и сопоставлялись с интервалами, с которых выносился на поверхность промывочной жидкостью шлам. После проделанной работы стало очевидно, что повышенные показания ГК характерны для алевритовых разностей пород, наряду же с повышением радиоактивного фона в песчаниках отмечается резкое уменьшение количественной пробы шлама – общий вес проб шлама уменьшается сразу в несколько раз, после чего резко увеличивается и выходит «аномальная» по весу проба. Петромагнитные замеры показали, что наиболее анизотропные значения петромагнитных параметров (резко различные и по каппе, и по термокаппе) также приурочены к выходам «аномально» тяжелых проб шлама. В связи с этим нами было сделано предположение о том, что неравномерный выход шлама при бурении горизонтальных стволов связан с несоблюдением технологии бурения, а именно – недостаточной промывкой ствола скважины во время проведения технологических операций и, как следствие, зашламлением забоя. Однако переинтерпретация временного материала и суточных сводок станции геологотехнологических исследований не подтвердила, казалось бы, верное наше первоначальное предположение. Зашламление забоя непременно привело бы к возникновению технологических осложнений в процессе бурения, происходили бы затяжки и подклинки, во время которых наблюдались бы резкие скачки давления на выходе, кроме того, они обязательно отразились бы на кривых «вес на крюке» и «положение таль-блока». Прямой закономерности подмечено, однако, не было. Работа с временным материалом станции ГТИ была продолжена в другом направлении.

Следующими поставленными перед исследователями СамГТУ задачами, решение которых проходило при нашем непосредственном участии, были: анализ временных данных геолого-технологических исследований для выявления зон осложнений в процессе бурения, определения интервалов слайдирования (по кривой «обороты ротора», «вес на крюке» и «ДМК» на глубинных диаграммах службы ГТИ), проведение петромагнитных замеров и сопоставление наборов данных с лабораторными замерами каппы и термокаппы, а также весового соотношения общих проб и магнитной фракции шлама в каждой пробе с данными ГТИ. После анализа и сопоставления данных стало очевидно, что, как правило, большой аномальный объем выбуренной породы (анализировались весовые соотношения общих проб шлама) выходит на поверхность после интервалов изменения режима бурения для корректировки зенитного и азимутального углов – «слайдирования», интенсивной промывки перед началом бурения свечки (трубки), в случае технологических осложнений или перед проведением замеров инклинометрии (все технологические операции зафиксированы в журналах, сводках и на временных данных службы ГТИ).

Величина веса пробы находится в прямой зависимости от качества шлама, что необходимо учитывать при его привязке к глубине. Об этом же говорит и поведение замеров петромагнитных параметров: – в «тяжелых» пробах отмечается анизотропность замеров, связанная с тем, что в шламе присутствуют породы с разных интервалов. В лабораторных условиях при проведении замеров петромагнитных параметров можно свести ошибку к минимуму, используя статистическую обработку данных из большого количества замеров в разных вариациях. В таких «сборных» интервалах отделить шлам с разных глубин для проведения литолого-фациальных исследований в случае его литологической однородности невозможно. После проведения очередного этапа исследований стало понятно, что для уточнения литологии вскрываемых пород целесообразно, наряду со стандартными исследованиями рабочей фракции шлама, выделение, взвешивание и описание обвальной, как правило, более крупной, фракции, сравнение ее веса с магнитной техногенной примесью, попадающей в шлам вследствие износа бурового инструмента, и проведение замеров петромагнитных параметров отдельно в обеих фракциях – обвальной и основной (рабочей). Что и было сделано.

Результаты исследований показали, что степень анизотропии обвальной фракции шлама служит некоторым критерием стабильности стенки скважины – чем более анизотропна проба, тем с большего интервала шлам попадает в места скопления, а значит, меньше вероятность возникновения технологических осложнений. Опыт работ показал, что по соотношению техногенной, обвальной и рабочей фракций шлама с одновременным анализом временных данных ГТИ можно уверенно определять увеличение износа бурового инструмента, в том числе и отдельно долота, диагностировать причины увеличения веса проб шлама. Учитывая, что за основу был взят метод радиоактивного каротажа, и только сравнение данных ГИС и петромагнитного позволило увидеть закономерности и получить результаты, следует сделать заключение о том, что сопоставление данных ГИС и относительных значений параметров петромагнитных исследований позволяет вовремя диагностировать и предусмотреть возможные осложнения в процессе проходки по горизонтальному участку скважины. Таким образом, особенности выноса шлама и технологии бурения, которые, казалось бы, служат осложняющими факторами при бурении горизонтальных стволов, можно использовать во благо при условии соблюдения технологии отбора шлама. Мы рекомендуем запись значения магнитной восприимчивости (каппы), взвешивание и разделение по фракциям проб в режиме online прямо на буровой, поскольку аварийные ситуации всегда лучше предотвращать, чем потом ликвидировать их последствия. В качестве аргументов к экспрессности петромагнитного метода следует добавить, что замер одной пробы шлама составляет не более 15 секунд и не требует никакой специальной подготовки ни персонала, ни пробы. Интерпретация полученного материала может и должна быть произведена в службе геолого-технологического мониторинга службы ГТИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лемешева Д. А., Курдюков К. А. Первые попытки интерпретации связи нефтенасыщения пластов с данными петромагнитных исследований шлама (на примере месторождений Самарской области) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых... В 2-х томах. Том 1. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. С. 288-290.
- Морова А. А., Васильев А. Б. К вопросу о разработке методики лабораторного изучения шлама нефтегазовых месторождений петромагнитными методами // Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации тезисы III научно-практической конференции с международным участием / Отв. редактор В.К. Тян. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2018. С 26.

INFORMATIVITY OF GEOPHYSICAL AND PETROMAGNETIC METHODS WHILE HORIZONTAL DRILLING

¹Kirill A. Kurdyukov, ²Darya A. Lemesheva Samara State Technical University, Samara ¹kurdyukov.1997@inbox.ru, ²darya_lemesheva@mail.ru

Summary. Geophysical, lithological-facies and petromagnetic methods of investigation by drilling horizontal wells harmoniously complement each other and provide information about the variability of physical, mechanical, lithological and magnetic properties of drilled rocks as you move through the wellbore, while separately these methods do not give satisfactory results. After analyzing the material of eight wells of the Kinyama field, the authors came to the conclusion about the possible conduct of petromagnetic studies in the mode of on – line drilling and joint application of the results of the interpretation of two methods-geophysical and petromagnetic for geological navigation of the well. **Key words:** petromagnetic research methods, slime, horizontal wells, geophysical methods.

УДК 550.312 МИКРОГРАВИРАЗВЕДКА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ. ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Кучев Алексей Васильевич ПГНИУ, г. Пермь javierhernandez@inbox.ru

Аннотация. В данной статье описываются современные гравиметры Autograv CG-5 и Autograv CG-6, а также анализируются техногенные помехи в городских условиях. Согласно измерениям, проведенным в различных населенных пунктах (Кампус ПГНИУ, Горный Институт, Березники, Кунгур), гравиметр Autograv CG-5 способен устранить большинство техногенных помех.

Ключевые слова: микрогравиразведка, населенный пункт, техногенные помехи, погрешность единичного наблюдения.

До начала 2000-х гравиразведка крайне редко применялась для малоглубинных исследований в основном в связи с низкой точностью измерительной аппаратуры – гравиметров. С появлением автоматизированных гравиметров Autograv (Scintrex ltd., Канада), имеющих микрогальную чувствительность измерительной системы, применение гравиразведки для малых неоднородностей экзотехносферы (верхней части разреза до глубины 100-200 м) практически не имеет препятствий.

При малоглубинных исследованиях микрогравиразведка применяется для изучения любых плотностных неоднородностей, но чаще всего – при изучении закарстованных территорий для обнаружения крупных карстово-суффозионных полостей и участков снижения плотности пород в результате агрессивного воздействия на породы подземных вод. Единственным объективным препятствием для применения данного геофизического метода в инженерно-геологических изысканиях является высокая сто-имость (более 100 000 \$) зарубежных гравиметров при отсутствии отечественных аналогов, не позволяющая окупить их приобретение при таких работах.

Основными моделями гравиметров компании Scintrex, предназначенными для наземной гравиметрической съемки, являются Autograv CG-5 и CG-6. Гравиметр CG-5 в настоящее время снят с производства, а модель CG-6 пришла ему на смену в 2015 году. На данный момент автору неизвестны отечественные компании, имеющие в наличии Autograv CG-6. В основном по-прежнему используются гравиметры модели CG-5. В таблице 1 приводится сравнение основных характеристик обоих приборов [2].

При малоглубинных исследованиях регистрации и изучению подвергаются аномалии силы тяжести от объектов, обладающих малыми размерами и аномальной массой. Величина таких аномалий обычно не превышает десятых, а чаще всего сотых долей миллигал. Методика микрогравиметрической съемки практически ничем не отличается от обычной наземной гравиметрической съемки за тем исключением, что гравиметрические рейсы менее длительные по времени для более точного и детального учета смещения нульпункта.

Обязательным условием выполнения наземных гравиметрических съемок является обеспечение планово-высотной привязки гравиметрических пунктов. В современных условиях планово-высотная привязка обеспечивается применением дифференциальных GPS/ГЛОНАСС систем либо электронных тахеометров. Навигационные системы в режиме измерений Real Time Kinematic (RTK), то есть в режиме реального времени позволяют обеспечить определение координат и высот с погрешностью не более 2-3 см. Однако в условиях плотной многоэтажной застройки оправдано применение электронных тахеометров, поскольку здания являются препятствиями на пути сигнала от спутников к навигационному приемнику и приводят к его переотражению, снижая точность измерений, а иногда и полностью препятствуя выполнению работ.

Таблица 1	
-----------	--

Характеристика	Autograv CG-5	Autograv CG-6
Вес (с аккумуляторами)	8.9 кг	5.2 кг
Размеры	33.6×21.5×20.1 см	21.5×24×24 см
Экран	ч/б	цветной
Особенности управления	Панель с кнопочным	Управление с помощью
	управлением, есть пульт	планшета (минимум кно-
	дистанционного включения	пок на панели прибора)
Емкость батарей	6.6 А·ч	6.8 A·ч
Диапазон измерений	8000 мГал	8000 мГал
(без перенастройки)		
Чувствительность	0.001 мГал	0.001 мГал
измерительной системы		
Стандартное отклонение	< 0.005 мГал	< 0.005 мГал
(на стенде)		
Кратковременное смещение	< 0.02 мГал/сутки	< 0.02 мГал/сутки
нульпункта		
Частота взятия отсчетов	6 Гц	настраиваемая, до 10 Гц
Термостатирование	Есть	Есть
Диапазон рабочих	-40°C - +45°C	-40°C - +45°C
температур		
Интерфейс вывода данных	2 Com + USB	USB + Bluetooth
Внешний вид		

Гравиметрические измерения в условиях населенных пунктов имеют свои особенности в силу наличия техногенных помех [1, 3]. В результате многолетних исследований, выполненных на территории Пермского края (г. Пермь, г. Кунгур, г. Березники), установлено, что величина погрешности единичного измерения с гравиметром Autograv CG-5 в 0.01 мГал вполне достижима, несмотря на, казалось бы, высокий уровень помех техногенного характера. При хороших грунтовых условиях удается получить погрешность, не превышающую 0.005-0.007 мГал, то есть практически соответствующую заводским характеристикам прибора, полученным при испытаниях на стенде.

Ежегодно на территории кампуса Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) студентами геологического факультета выполняются практические занятия с гравиметром Autograv CG-5 в рамках курса «Гравиразведка». Кампус расположен на территории г. Перми вблизи железнодорожного вокзала, являющегося крупным транспортным узлом с высоким уровнем микросейсмического шума. Среднее расстояние от участка работ до железнодорожных путей состав-

ляет 200 м, до трамвайных путей и автомобильных дорог с интенсивным движением – 150 м.

Накопленный с 2015 г. материал показывает, что погрешность единичного измерения с гравиметром в пределах кампуса не превышает 0.006 мГал при 100 % объеме контрольных измерений в независимых рейсах, что ненамного превышает погрешность измерений на стенде для данной модели гравиметра. Измерения выполнялись как на рыхлом грунте, так и на асфальтированном покрытии.

Измерения в сквере на улице Сибирская, неподалеку от здания Горного института («ГИ УрО РАН»), дали более высокую погрешность, но лишь в случае удаления гравиметрического пункта от автомобильной дороги на расстояния не более 10 м. Установлено, что при удалении от гравиметрического пункта более 5 м, проезжающие легковые автомобили не создают интенсивных колебаний земной поверхности и являются слабой техногенной помехой, не мешающей съемке. Наибольшие вибрации почвы создают многотонные грузовые автомобили, особенно в том случае, когда они стоят неподалеку от пункта измерений с включенным двигателем. При измерениях на грунте и на жестком основании на удалении от автомобильной дороги более 10 м в отсутствие интенсивного движения грузовых автомобилей погрешность единичного измерения с гравиметром не превышала 0.005 мГал при 100 % объеме контрольных измерений. Наибольшее влияние при измерениях на любом виде поверхности (почва или асфальт) оказывают пешеходы, проходящие на расстоянии менее 3 м от гравиметрического пункта.

Измерения на территории г. Кунгура выполнялись студентами разных вузов, в том числе ПГНИУ, в 2016 г. в период международного полевого лагеря SEG «Karst Scene Investigation». Измерения выполнялись на поверхности Ледяной горы над Кунгурской Ледяной пещерой непосредственно на грунте. Удаление от автомобильной дороги составляло около 150 м. Погрешность единичного наблюдения с гравиметром не превышала 0.005 мГал при 100 % объеме контрольных измерений.

Результаты многолетних микрогравиметрических съемок в населенных пунктах Пермского края убеждают, что измерения современными автоматизированными гравиметрами позволяют добиться погрешности единичного наблюдения, сопоставимой с заводскими характеристиками, полученными в условиях испытательного стенда.

Очевидно, что инфраструктура населенного пункта накладывает свои ограничения на производство гравиметрических работ. Здания и сооружения препятствуют выполнению измерений непосредственно на месте их расположения, особенно в условиях плотной городской застройки. Кроме того, их влияние необходимо учитывать аналогично влиянию рельефа земной поверхности, что, впрочем незначительно, увеличивает трудоемкость работ.

Автомобильный транспорт также представляет определенную проблему при расположении гравиметрических пунктов на расстоянии нескольких десятков метров от дорог, но данная проблема решается, если съемки выполняются в часы наименее интенсивного движения. Проблема пешеходов успешно решается посредством ограждения участка работ сигнальной лентой.

С точки зрения техногенных помех практически не существует объективных препятствий для выполнения микрогравиразведки в условиях населенных пунктов. Единственным объективным барьером для ее применения является высокая стоимость гравиметров, не позволяющая небольшим геофизическим компаниям приобрести ее, в то время как крупные компании, обладающие такой аппаратурой, обычно ориентированы на «большую» геофизику при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и не заинтересованы в проведении недорогих малоглубинных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Пугин А. В. Микрогравиразведка в условиях города. Оценка помех // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. трудов. Вып. 14. Пермь : ГИ УрО РАН, 2016. С. 157-159.
- 2. Руководство пользователя к гравиметру Autograv CG-5 и описание гравиметра Autograv CG-6 [электронный ресурс]. URL: http://www.scintrexltd.com.
- Семериков Г. А. Микрогравиразведка на урбанизированных территориях // Геология в развивающемся мире: сб. науч. трудов (по материалам X Междунар. науч.практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. Т.2. Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. С. 50-51.

MICROGRAVIMETRY IN INHABITED DISTRICTS. ABILITIES AND LIMITATIONS.

Aleksei V. Kuchev PSU, Perm javierhernandez@inbox.ru

Summary. This article describes modern foreign gravimeters Autograv CG-5, Autograv CG-6 and analyse human made reference in urban areas. According to measurements taken in inhabited districts (Perm State University Campus, Perm Mining Institute, Berezniki, Kungur) gravimeter Autograv CG-5 is able to eliminate human-made reference.

Key words: microgravimetry, inhabited district, human-made interference, single measurement error.

УДК 550.8 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТАНЫПСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Лапшина Юлия Викторовна ПАО "Пермнефтегеофизика", г. Пермь lapshina5@mail.ru

Аннотация. В результате исследования выявлена вероятность обводнения пресной водой визейских отложений Таныпского месторождения, и, в связи с этим, даны рекомендации по дальнейшим исследованиям на месторождениях подобного типа, которые позволят максимально эффективно вести их разработку.

Ключевые слова: разработка, завершающая стадия разработки, ГИС, геофизические исследования, обводнение пластов, нетрадиционные запасы, определение насыщения, спектральный каротаж, терригенные коллекторы.

Для эффективной работы на месторождении специалистам необходимо иметь максимум информации о его текущем состоянии. Геофизические исследования (ГИС), к сожалению, позволяют исследовать лишь небольшой участок вблизи ствола скважины, но, с другой стороны, это практически единственный доступный и наименее за-

тратный способ получения всесторонней информации о процессах, протекающих под землей.

Периодически при интерпретации ГИС на ряде месторождений возникают вопросы несоответствия некоторых данных, ошибки в определении насыщения. По данным технологических режимов Таныпского месторождения Северо-Таныпского поднятия, было выявлено обводнение пластов пресной водой, а по стандартным геофизическим данным отличить пресную воду от нефти практически не возможно.

Поэтому было решено изучить визейский объект данного поднятия. Для этого пласта характерны наибольшее распространение по месторождениям Пермского края и максимальная выработанность запасов. Таныпское месторождение на данный момент находится на завершающей стадии разработки. [3] Для нее характерна высокая обводненность продукции, истощение запасов, снижение проницаемости продуктивных пластов.

Автором по данным технологических режимов были построены графики, по которым стало видно, что плотность воды, начиная с 2011 г., не менялась. С июня 2018 г., после проведения замеров по всем скважинам, плотность изменилась либо в большую, либо в меньшую сторону. На основе этих изменений была построена карта (рис. 1а). Стоит отметить, что в течение 8 лет фонд скважин не изменялся. С августа 2017 г. начали эксплуатацию Тл2-Бб-Мл пластов в скважине № 10, а с июня 2018 г. – пласта Тл1 в скважине № 51. На начало 2019 г., в дополнение к предыдущим, включены в эксплуатацию еще три скважины (пласты Тл2-Бб-Мл; Тл1+Тл2-Бб-Мл; Тл1+Т). Также изменилось и значение плотности воды для некоторых скважин. Все это позволило уточнить существующую карту (рис. 1б). Новые скважины забурены в основном в северной и центральной части поднятия. То есть движение потоков жидкости между скважинами за два последних года изменилось.



Рис. 1. Карты плотности воды, извлекаемой из скважин: a) на 06.2018 г.; б) на 01.2019 г.

Данные карты очень приблизительные, многие скважины работают сразу на несколько объектов, что влияет на извлекаемый продукт, но они все же позволяют оценить текущее состояние месторождения и могут помочь при планировании проведения ГИС и интерпретации их результатов.

Так как по технологическому проекту разработки Таныпского месторождения выбрано очагово-избирательное заводнение, а нефть, присутствующая в пластах отличается высокой вязкостью [1, 2], то **движение воды от нагнетательных скважин бы**ло неравномерным. Она, как более подвижный флюид, оттесняет нефть от более высокопроницаемых участков пласта, образуя языки обводнения. А значит предсказать, где появится вода, без специальных данных ГИС невозможно.

На карте по плотности воды видно, что специальный комплекс ГИС в первую очередь нужно проводить в новых забуривающихся и старых эксплуатируемых скважинах на юге поднятия в районе скважин № 1, 2 и 4.

В этот специальный комплекс предлагается включить методы СГК и ИНГК-С. Оба они являются частью комплексной аппаратуры. ИНГК-С позволит точнее определить насыщение пластов, а метод СГК увеличить приток нефти за счет выявления нетрадиционных (редко вовлекаемых в эксплуатацию) продуктивных пластов Тл1, и вовлечь их в разработку.

Определение насыщения пластов методом ИНГК-С, в первую очередь, выполняется по содержанию хлора и углерода. В пластовых водах нефтяных месторождений за счет растворенных солей присутствует значительное количество хлора. При этом в скелете большинства пород, слагающих коллекторы, хлор отсутствует. Отделить пресную воду от нефти можно по практическому отсутствию углеродной составляющей. В нефти же содержание углерода будет значительным.

Поэтому на скважине 50 Таныпского месторождения было решено провести исследования данными методами. При освоении объекта Бб1 в соседней скважине 51 была получена вода с низким удельным весом (1.05 г/см³), хотя по данным окончательного каротажа в открытом стволе в данном интервале отмечались высокие сопротивления, характерные для нефти. По содержанию хлора и углерода с учетом значений УЭС по ИК определены интервалы коллекторов, насыщенных нефтью, пластовой и пресной водой (рис. 2).

К сожалению, в скважине 50 освоения интервала не было, и именно этим методом (ИНГК-С) исследования были проведены лишь в паре скважин на поднятии. Для статистики и конкретных выводов этого крайне мало. Но действенность метода ИНГК-С по исследованиям на других месторождениях была доказана в отчете для ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» в 2017 г. специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика».

Помимо этого, на Таныпском месторождении проводились исследования методом ИННК, он подобен ИНГК-С и позволяет получить параметры для расчета коэффициента текущего насыщения, но вот компонентный состав он не дает, что не позволяет дать уверенное заключение о характере насыщения, отличить пресную воду от нефти.

Метод СГК может быть использован при оценке коллекторских свойств пластов. По дополнительно выделенным интервалам коллекторов выдаются рекомендации для эксплуатации и для увеличения нефтедобычи.

Для скважины 51 (рис. 3) по методу СГК были скорректированы границы нефтенасыщенных коллекторов и рекомендованы к испытанию. Из них была получена нефть. Сегодня на скважине эксплуатируется только объект Тл1 с дебитом нефти 7.1 т/сутки и обводненностью 9 %.



Рис. 2. Результаты анализа данных ГИС с методом ИНГК-С при оценке характера насыщения по скважине №50 Таныпского месторождения



Рис. 3. Сопоставление результатов оценки объемной глинистости по данным СГК и ГК в скважине №51 Таныпского месторождения

Без дополнительных методов ГИС на месторождении обойтись невозможно. Проведение метода СГК в первую очередь позволит увеличить дебит нефти, а ИНГК-С – уменьшить риск ошибочного выбора интервалов перфорации и снизить процент обводненности.

На большинстве месторождений Пермского края, как и на Таныпском, наблюдаются схожие проблемы, а значит выводы и рекомендации, полученные в результате проведенного анализа, позволят избежать многих осложнений на других подобных объектах.

Для повышения эффективности разработки любого месторождения с подобными проблемами необходимо:

• Применение метода СГК и в скважинах эксплуатационного фонда, и во вновь пробуренных, с освоением выделенных дополнительных интервалов для увеличения добычи.

• Проведение метода ИНГК-С, в том числе и периодическое, для определения текущего насыщения пластов и выделение наиболее рентабельных интервалов для перфорации.

• Замена метода ИННК более информативным методом ИНГК-С.

• Создание карт или моделей, учитывающих все необходимые параметры для выбора корректного и информативного комплекса ГИС в скважинах.

Методы ГИС несут лишь косвенную информацию, при их интерпретации мы можем выдать лишь наиболее вероятный вариант процессов, происходящих в скважине. Напрямую проверить, что происходит в пластах, мы не можем.

В производственном режиме заложено слишком малое количество времени, чтобы рассмотреть и учесть всю информацию о месторождении и выдать рекомендации по конкретной скважине. Изучение данных ГИС с точки зрения разработки месторождения позволит избежать ошибочных результатов при их интерпретации, а также повысить эффективность разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Оперативный пересчет запасов нефти и растворенного газа Таныпского нефтяного месторождения Пермского края. Пермь, 2017.
- 2. Отчет технологический проект разработки Таныпского месторождения. Москва-Пермь, 2013.
- 3. Юшков И. Р., Хижняк Г. П., Илюшин П. Ю. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учеб.-метод. пособие. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. 177 с.

INCREASE OF DEVELOPMENT EFFICIENCY FOR TANYPSKOYE FIELDS ACCORDING TO GEOPHYSICAL RESEARCH IN WELLS

Yuliya V. Lapshina PSC «Permneftegeophysica», Perm lapshina5@mail.ru

Summary. As a result of the study, it is revealed the probability of watering with fresh water of Visean reservoirs of the Tanipskoye field. The article presents recommendations for further research on fields of this type, which will allow conducting their development as efficiently as possible.

Key words: field, final stage of development, well logging, geophysical research, water cut, unconventional reservoirs, saturation determination, spectral logging, terrigenous reservoir.

УДК 550.8.05(265.53) ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНО-КИРИНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Лексин Василий Константинович Тихоокеанская инжиниринговая компания, ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск lex-vasya@mail.ru

Аннотация. На Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении (шельф о. Сахалин) с 2010 г. выполнялась сейсморазведка высокого разрешения для поисков геологических опасностей, чтобы выбрать безопасное место постановки буровой платформы для дальнейшего бурения поисково-оценочной или разведочной скважины. Используемая методика выполнения морских исследований – продольное профилирование отраженными волнами с 48-кратным перекрытием отражающих горизонтов. Для получения качественных сейсмических мигрированных разрезов был разработан единый алгоритм обработки сейсмических данных для морских площадей Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения. Все выявленные аномалии в процессе интерпретации сейсмических разрезов были вынесены на карту геологических опасностей для выбора оптимального и безопасного места постановки буровой платформы.

Ключевые слова: сейсморазведка высокого разрешения, сейсмический разрез, интерпретация, амплитудные аномалии, разрывные нарушения.

На Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении с 2010 по 2017 г. были проведены морские исследования сейсморазведкой высокого разрешения для выбора безопасного места постановки буровой платформы (рис. 1). За этот период было собрано свыше 8000 пог. км сейсмических данных. Исследования выполнялись по сети профилей 100х500 метров. На исследуемых площадях основными геологическими опасностями являются газовые эманации и разрывные нарушения [3, 5, 8].

Первоочередной задачей являлась необходимость обработки полученных данных единым алгоритмом [4]. Для решения такой задачи геофизиками компании AO «Тихоокеанская инжиниринговая компания» разработан и реализован такой комплекс обработки сейсмических данных для всех площадей исследований в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения с целью приведения к единой системе, единым параметрам обработки, повышению качества и точности обработки. Применялся программный пакет Landmark ProMAX. Обработка сейсмических данных выполнялась по методу общей глубинной точки (ОГТ) [1, 2, 6, 9, 10]. Результатом обработки являются сейсмические мигрированные разрезы. Пример сейсмического мигрированного разреза показан на рисунке 2.



Рис. 1. Обзорная карта исследований 2D сейсморазведки высокого разрешения в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения

LINE_	_NO													25	5														
CDP	87	173 2	258 34	46 43	1 51	7 603	689	775 	861	947	1033	1119	1205	1291	1377	1463	1549	1635	1721	1807	1893	1979	2065	2151	2737	7373	2409	2485	2581
ar	rea East1.	line 25	Final P	Migration	n															-									
-												-		-			-		-	-	-						10.7	1	
1		-	-	-		-	-	-				-	1.00	-	-410			-			-	100	-4-	1.00		1000			200 1
		-	No. of Lot	-	-					र स्ट. इ.							Alter a							1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.			-	-	
		100		3000	-18.1	-		Card of		-			1.1.1.1.1		-	And the second second	2** K () ()	1212		-	11.00		-						-
			1.11.12.11.1	214 A.K.		225			-	Contraction of the local data		-						-	-			-				10.2	100	24.70	
	-		-	-		-						1.12										-	-	-	20			1	
			-1-24	-				1004				_									10.00	P E-Baa	22.47						
	1			2010		London The			-	-			-						10.108			-	-	-	and the second				-
	100		-	-	1. J. J.		Carlos P		244		-	-	-						-					-	-			-	
	- 8	-	-				1.2.2.2				0													2722				54.25	-
	1							200		1		-							the second	-									2
	100	-		187 - C	225	1.00		-	100	1.25		12.12			100	100				1	-		1	10.54			100	1.5	1000
								- 18		-	1.25				1			1.0.00											
			1223						-			100					-					<u>1992</u>		-					
	1				32			1					11			20	-		-		-			-	24		-		1
								-		12-			244																
2		-											-				-								-		-		
11										-									- 5				-	32			-	-100	
12											54						-					1.00					1000		
			300			-																							
110	14	12.2	120	2.65	247	指 定者	a Le		生命			1	17. E			12.20	E.C.		1					137	19				1
100	100				14			-									1							-		100			
12	120	93	E.S.																									20	100

Рис. 2. Пример результатов обработки. Сейсмический мигрированный разрез

Для выделения потенциально опасных объектов по каждому выделенному горизонту (13 отражающих горизонтов) был проведен динамический анализ, включивший в себя определение следующих параметров: максимальная и минимальная пиковые амплитуды. Пример динамического анализа показан на рис. 3.

В процессе интерпретации помимо выявления амплитуды выполнялось обнаружение всевозможных признаков, таких как: смена фазы, наличие питающего канала, снижение частоты и наличие искажения (ложного прогибания) всех нижележащих границ, свидетельствующих о возможном наличии газа [7].

В результате интерпретации сейсмических мигрированных разрезов были выделены: аномалии, связанные с газонасыщением; разрывные нарушения и турбидитовый поток. Примеры фрагментов этих геологических опасностей показаны на рисунках 4, 5.



Рис. 3. Пример распространения динамической характеристики с наложенной схемой отработанных профилей – максимальная пиковая амплитуда по сейсмическому горизонту с отражающими горизонтами sg5-sg6



Рис. 4. Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий газовую аномалию и разрывные нарушения. Обозначения: «Плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с отпикированными отражающими горизонтами

Рис. 5. Пример интерпретации разреза, показывающий турбидитовое тело. Обозначения: вертикальные наклонные линии – разрывные нарушения

Для более удобного ранжирования аномальных зон в изучаемом разрезе были выделены основные отражающие горизонты. Все выделенные геологические опасности, обнаруженные в результате интерпретации, вынесены на карту геологических опасностей (рис. 6). Они находятся в осадочном чехле, представленном отложениями верхненутовского и охотско-дерюгинского комплексов.



Рис. 6. Карта геологических опасностей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка: учебник для вузов. Тверь : АИС, 2006. 744 с.
- 2. Козлов Е. А. Миграционные преобразования в сейсморазведке. М. : Недра, 1986. 248 с.
- Ксенофонтова М. А. Выделение инженерно-опасных районов в шельфовой зоне по данным непрерывного сейсмического профилирования на примере работ в Охотском море // Инженерная геофизика: тезисы 12-й научно-практической конференции и выставки. Анапа : EAGE, 2016. С. 1-6.
- 4. Единый алгоритм обработки данных 2D сейсморазведки высокого разрешения для морских площадей Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин) / Лексин В. К. [и др.] // Материалы пятой Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. Республика Хакасия : НГУ, 2018. С. 49-51.

- 5. Миронюк С. Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования. Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2015. № 2 (22). С. 113-117.
- 6. Хаттон Л. Обработка сейсмических данных. М. : Мир, 1989. 216 с.
- Хилтерман Ф. Дж. Интерпретация амплитуд в сейсморазведке. Тверь: ГЕРС, 2010. 256 с.
- 8. Результаты геологоразведочных работ ООО «Газпром геологоразведка» на восточном шельфе о-ва Сахалин (Охотское море) / Хоштария В. Н. [и др.]. Геология нефти и газа. 2016. №2. С. 34-43.
- 9. Телегин А. Н. Морская сейсморазведка. М. : Геоинформмарк, 2004. 237 с.
- 10. Sheriff R. E. Geldart L. P. Exploration Seismology. Data-processing and interpretation. London : Cambridge University Press, 1983. 231 p.

GEOLOGICAL HAZARDS FROM HIGH RESOLUTION SEISMIC DATA WITHIN THE SOUTH-KIRINSKOYE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD

Vasilii K. Leksin Pacific Engineering Company, IMGG FEB RAS, Yuzno-Sakhalinsk lex-vasya@mail.ru

Summary. Since 2010, the South-Kirinskoye oil and gas condensate field (offshore Sakhalin Island) has carried out high resolution seismic to search for geological hazards in order to choose a safe location for the drilling platform for further drilling of a prospecting or exploration well. The method used for performing marine research is longitudinal profiling of reflected waves with a 48fold overlap of the reflecting horizons. To obtain high-quality seismic migrated sections, a unified algorithm for processing seismic data for the offshore areas of the South-Kirinskoye oil and gas condensate field was developed. The article presents the results of interpretation of seismic sections with all the detected anomalies and geological hazards rendered on the map.

УДК 534.6 АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА ЭБЕКО ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ И АКУСТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЯМ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ 2018 Г.

^{1,2}Лобачева Марина Андреевна, ²Будилов Дмитрий Игоревич ¹КамГУ им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский ²КФ ФИЦЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский lobacheva@emsd.ru, budilov@emsd.ru

Аннотация. Извержение вулкана Эбеко, который расположен в 7 км от г. Северо-Курильска, с одной стороны представляет экологическую опасность для жителей города, а с другой является доступной природной лабораторией для изучения физики эксплозивных извержений. В связи с этим в сентябре 2018 г. был установлен микробарограф на сейсмической станции SKR. В работе представлены предварительные результаты изучения акустического и сейсмического излучений, сопровождавших извержений вулкана Эбеко.

Ключевые слова: вулкан, извержение, эксплозия, акустические сигналы, сейсмическое излучение.

Действующий стратовулкан Эбеко (50°41′20″ с. ш., 156°00′54″ в. д) высотой 1156 м над уровнем моря по частоте извержений является одним из активнейших вулканов Курильской островной дуги и состоит из нескольких четвертичных вулканических конусов. Он располагается в северной части хребта Вернадского на острове Парамушир в 7 км от г. Северо-Курильска [1].

С начала голоценовой эры все извержения вулкана Эбеко можно отнести только к эксплозивным фреатическим или фреатомагматическими, длительность которых, как правило, составляла 2-4 года, а периоды межэруптивной деятельности 20-30 лет [2].

Активность вулкана Эбеко проявляется в виде отдельных эксплозий, сопровождающихся землетрясениями, которые регистрируются сейсмической станцией в г. Северо-Курильске (SKR). Кроме того, воздушные волны, возникающие во время сильных эксплозий, регистрируются международной акустической станцией IS44 (рис. 1а), расположенной в 325 км от вулкана. Эбеко. Также в Камчатском филиале Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) обрабатываются данные о термальных аномалиях и пепловых шлейфах на спутниковых снимках, которые дают представление об активности вулкана. Дополнительно используется информация видео/визуальных наблюдений. С целью изучения слабых эксплозий, в сентябре 2018 г. на с/с SKR был установлен микробарограф ISGM-03М. Данный прибор позволял регистрировать волновые возмущения в атмосфере в диапазоне частот 0.003-100 Гц. Представление о характере эксплозивного процесса дает рис. 16, на котором хорошо виден пепловый выброс на высоту ~4 км (www.emsd.ru).



Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за извержением вулкана Эбеко (а), на врезке показана конфигурация группы микробарографов на станции IS44. Снимок извержение вулкана Эбеко 05 января 2019 г. 23:48 (*www.emsd.ru*) (б).

Акустические сигналы в дальней зоне на IS44 с азимутом на вулкан Эбеко представляли из себя цуги колебаний длительностью до 20 с $\Delta P_{max} = 0.02$ Па и периодом $T_{cp} \approx 1.0$ с (рис. 2а). В ближней зоне сигнал представлял биполярный хорошо сбалансированный импульс с $T_{cp} \approx 0.8$ с (рис. 2б). Как видно на рис. 2, запаздывание между приходами сигналов на обе инфразвуковые станции составляет 16:02, что может свидетельствовать о едином источнике излучения.



Рис. 2. Запись воздушной волны на станциях IS44 (а) и SKR (б), возникшей в результате эксплозии на вулкане Эбеко

Как видно на рис. 3, где приведена суточная запись микробарографа одновременно с записями вертикальной составляющей сейсмографов с/с SKR, далеко не все эксплозии сопровождались воздушными волнами. Следует отметить, что землетрясения, сопровождающие эксплозии, хорошо выделяются на записях велосиметра (длительность колебаний 25-30 с, максимальная амплитуда A_{max} <2 мкм), и значительно хуже на записях акселерометра. Воздушная волна, в случае ее возникновения при эксплозии, регистрировалась в пункте SKR через 23-25 с после эксплозивного землетрясения (рис. 4).



Рис. 3. Суточная запись микробарографа (а) и вертикальных каналов велосиграфа (б) и акселерометра (в). Пунктирными линиями обозначены моменты, когда эксплозии сопровождались воздушными волнами



Рис. 4. Запись воздушной волны в пункте SKR (а) и запись соответствующего эксплозивного землетрясения велосиграфом (б) и акселерометром (в)

Соотношение между амплитудой акустических сигналов на станциях SKR и IS44 вполне укладывается в рамки линейной теории распространения звука (рис. 5).



Рис. 5. Соотношение между амплитудой акустических сигналов на станциях SKR и IS44

Как показано в работе [3], при резком выбросе пепло-газовой смеси из кратера вулкана возникают воздушные ударные волны (ВУВ), которые по мере удаления от источника эволюционируют в акустическую (воздушная волна). Схема ВУВ и ее параметров приведена на врезке рис. 6. В первом приближении радиус сферической области повышенного давления, которая служит источником зарегистрированных акустических

сигналов, можно определить как: $a = C_0 \cdot \tau_+$, где C_0 – скорость звука в атмосфере на высоте источника h. Ориентируясь на период в цуге колебаний акустического сигнала, который составляет ~ 0.8 с (рис. 6), и, учитывая, что по мере удаления от источника происходит увеличение периода акустического сигнала, в первом приближении можно оценить радиус источника ($a \le 120$ м). Если принять за источник размер активного кратера вулкана Эбеко, то расчеты удовлетворительно согласуются [4].



Рис. 6. Пример записи акустического сигнала на станции SRK от эксплозии, вулкана Эбеко. На врезке показаны основные параметры воздушно-ударной волны вблизи источника

Выражаем особую благодарность научному руководителю доктору физикоматематических наук Фирстову Павлу Павловичу за ценные советы, научный подход в ходе исследования и рекомендации по оформлению статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М. : Наука, 1967. 288 с.
- 2. Вулкан Эбеко (Курильские о-ва): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 1 / Мелекесцев И.В. [и др.] // Вулканология и сейсмология. 1993а. №3. С. 69-81.
- 3. .Фирстов П. П. Вулканические акустические сигналы диапазона 1.0÷10 Гц и их связь с эксплозивным процессом. Петропавловск-Камчатский : КГПУ, 2003. 90 с.
- Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur / Kalacheva E. [et al.] // J. Volcanol. Geotherm. Res. 310 (2016). 199 p.

ACTIVITY OF THE EBECO VOLCANO IN SEISMIC AND ACOUSTIC RADIATIONS DATA IN THE 2nd HALF OF 2018

^{1,2}Marina A. Lobacheva, ²Dmitry I. Budilov
 ^{1,2}Kamchatka Bering State University,
 ²KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
 lobacheva@emsd.ru, budilov@emsd.ru

Summary. The eruption of the Ebeko volcano, which is located 7 km from the city of Severo-Kurilsk, on the one hand, represents an environmental hazard for urban residents. On the other hand, it is natural laboratory for studying the physics of explosive eruptions. In this regard, in September 2018, a microbarograph was installed at the SKO seismic station. The paper presents the preliminary results of the study of acoustic and seismic radiation that have erupted from the Ebeko volcano.

Key words: volcano, eruption, explosion, acoustic signals, seismic radiation.

УДК 550.34 К ВОПРОСУ О СООТНОШЕНИИ МАГНИТУД НА ПРИМЕРЕ КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НОВОЙ ЗЕЛАНДИИ

^{1,2}Мурыськин Алексей Сергеевич ¹ПГНИУ, ²«ГИ УрО РАН», г. Пермь muriskinas@gmail.com

Аннотация. К настоящему времени в сейсмоактивных регионах мира для классификации землетрясений используют несколько магнитудных шкал, определяемых глобально (M_W^{GCMT} , m_b^{ISC} , M_S^{ISC}) и регионально (M_W^{RCMT} , M_L). Такие шкалы обычно связаны между собой эмпирическими корреляционными соотношениями. Устойчивость таких соотношений проверили на примере 1300 землетрясений Новой Зеландии 2010–2017 гг. с $M \ge 4$, координатами эпицентров между 40–45° ю.ш., 170–175° в.д. и глубинами менее 100 км.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, региональная магнитуда, моментная магнитуда, сеть сейсмических станций «Геонет», Новая Зеландия.

Введение

С момента внедрения в сейсмологическую практику первой магнитудной шкалы – шкалы региональных магнитуд M_L [13], обнаружилось, что такие оценки, определенные как средние по сети сейсмических станций, характеризуются стандартными отклонениями индивидуальных оценок порядка 0.3 и не связаны тесно с такими параметрами как интенсивность, энергия, максимальные ускорения [9].

Введение магнитудных шкал для удаленных землетрясений, mb и M_S [7, 8] также не связала такие оценки с интенсивностью, энергией, максимальными ускорениями, при этом вариации индивидуальных оценок таких магнитуд также составляют порядка 0.3–0.4, причем амплитуды вариаций зависят от магнитудного диапазона [8]. Более того, соотношения магнитуд в разных сейсмоактивных регионах мира, полученные эмпирически, оказались регионально зависимыми [3]. Накопление информации из множества бюллетеней со всего мира о временах вступлений и амплитудах в Международном сейсмологическом центре (ISC) позволило выполнить пересчет гипоцентров и по единой методике переопределить mb и M_S и получить однородный набор магнитуд mb^{ISC} и M_S^{ISC} [16], соответственно.

Появление следующей магнитудной шкалы связано с введением сейсмического момента [2], на котором основана шкала моментных магнитуд M_W [10, 11]. Такие оценки позволили впервые получить однородные оценки магнитуд для сильных землетрясений мира, которые основаны не на пиковых амплитудах и/или периодах, как все ранние магнитуды, а на анализе целых фрагментов сейсмограмм – M_W^{GCMT} [5, 6]. Развитие региональных сетей сейсмических станций позволило применить такой подход и к землетрясениям меньших магнитуд, что привело к появлению новой региональной шкалы – M_W^{RCMT} [1, 15].

Таким образом, к настоящему времени сильнейшие землетрясения сейсмоактивных регионов мира и, в том числе, Новой Зеландии, характеризуются набором, в основном, из пяти магнитудных шкал, а именно, M_L , mb^{ISC}, M_S^{ISC} , M_w^{GCMT} и $M_w^{RCMT(GeoNet)}$. Поскольку разрешающая способность каждой из шкал различна, всегда возникает вопрос о степени корреляции таких магнитуд, глобальной и в каждом из районов [4].

Отметим, что в связи с значительным развитием сети сейсмических наблюдений «Геонет» к 2010 г. [12], была обновлена шкала региональных магнитуд M_L для классификации землетрясений Новой Зеландии [14], поэтому интервал регионального каталога за 2010-2017 гг. может считаться однородным, и именно его и выбрали для оценки корреляции магнитуд.

Исходные данные

В текущей работе изучали магнитуды землетрясений 2010-2017 гг. с координатами эпицентров между 40–45° ю.ш., 170–175° в.д. и глубинами менее 100 км, с $M \ge 4$. Информация о количестве имеющихся магнитуд приведена в таблице 1.

Изучение связи между шкалами магнитуд

При построении корреляционных зависимостей использовались пары оценок от 46 (пары оценок с M_W^{GCMT}) до 865 землетрясений (пары оценок $M_W^{\text{RCMT(GeoNet)}}-M_L^{\text{GeoNet}}$); наборы с парами магнитуд для менее 45 землетрясений не рассматривали, так как такая выборка не является представительной (таблица 1).

Для построения графиков корреляции (рис. 1) использовались данные по магнитудам M_w^{GCMT} , M_w^{RCMT} , M_L , mb^{ISC} и M_S^{ISC} . Все 1310 землетрясений были зафиксированы в каталоге агентства «Геонет», для них определены магнитуды M_w^{RCMT} и M_L . Магнитуда M_w^{RCMT} данного каталога выбрана как основная, по которой выделены два подкаталога ($M_w \ge 5$ и $M_w < 5$) и построены корреляционные зависимости с другими типами магнитуд. Корреляционные зависимости построены для всех типов магнитуд относительно основной магнитуды для трех вариантов выборки, соответственно: для всего

Количество магнитуд разного типа для землетрясений Новой Зеландии и ко-

•	bo semile i preen	па с паров	матинтуд	пыл оцено	K pashoro	i mina		
	Тип магнитуды	$M_{ m W}^{ m \ GCMT}$	$M_{ m W}^{ m \ RCMT}$	$M_{ m L}^{ m GeoNet}$	$m_{ m b}^{ m ISC}$	$M_{ m S}^{ m ~ISC}$		
	$M_{ m W}{}^{ m GCMT}$	46/12	12	12	7	6		
	$M_{ m W}^{ m RCMT(GeoNet)}$	46	159/865	753	137	15		
	$M_{ m L}^{ m GeoNet}$	46	159	284/1026	137	15		
	$m_{\rm b}^{\rm ~ISC}$	24	29	29	29/137	15		
	$M_{ m S}^{ m ISC}$	24	25	25	25	25/15		

Примечание. Над диагональю приведены оценки количества пересечений магнитуд для землетрясений с $M \ge 5$. Под диагональю – для землетрясений с $4 \le M < 5$. По диагонали – количество землетрясений в каждом из каталогов (с $M \ge 5 / c 4 \le M < 5$).



Рис. 1. Связь каждого типа магнитуд с M_w^{RCMT} : (a) M_L , (б) mb^{ISC} , (в) M_w^{GCMT} ; слева – для всего диапазона магнитуд, в середине – для землетрясений с M < 5, справа – для землетрясений с $M \ge 5$

диапазона магнитуд, для землетрясений с $M_w < 5$ и для землетрясений с $M_w \ge 5$. Для магнитуд агентства GCMT диапазон с $M_w < 5$ не рассматривали, так как порог определения для землетрясений Новой Зеландии составляет 4.8.

Вывод

На примере каталога землетрясений Новой Зеландии за 2010-2017 гг. обнаружили, что уравнения корреляции зависят от выборки землетрясений в коллекции. Так, отметили значительные вариации коэффициентов в полученных уравнениях связи (таблица 2) – больше для mb^{ISC} и меньше для $M_w^{\rm GCMT}$.

Таблица 2

Тип	Диапазон	Количество	Уравнение	Коэффициент
магнитуды	магнитуд	пар	связи с $M_{ m w}^{ m \ RCMT}$	детерминации (R ²)
$M_{ m L}$	M < 5	865	Y = 0.97 * X + 0.34	0.55
$M_{ m L}$	$M \ge 5$	157	Y = 0.84 * X + 0.94	0.60
$M_{ m L}$	$M \ge 4$	1022	Y = 0.91 * X + 0.60	0.76
mb ^{ISC}	M < 5	137	Y = 0.69 * X + 1.34	0.35
mb ^{ISC}	$M \ge 5$	29	Y = 0.64 * X + 1.80	0.72
mb ^{ISC}	$M \ge 4$	166	Y = 0.81 * X + 0.81	0.76
$M_{ m w}^{ m GCMT}$	$M \ge 5$	46	Y = 0.91 * X + 0.49	0.98
$M_{ m w}^{ m ~GCMT}$	$M \ge 4$	58	Y = 0.89 * X + 0.57	0.98

Уравнения связи между разными типами магнитуд

Также отметили, что коэффициента в таких уравнениях зависят и от диапазона магнитуд, что отмечалось и ранее, например, для камчатских субдукционных землетрясений [1], когда наблюдалось изменение тренда после M > 5.5.

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН Анне Александровне Скоркиной за консультирование по вопросам магнитуд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Массовое определение моментных магнитуд Мw и установление связи между Мw и ML для умеренных и слабых камчатских землетрясений / Абубакиров И. Р. [и др.] // Физика Земли. 2018. № 1. С. 37-51.
- 2. Aki K. Generation and propagation of G waves from the Niigata Earthquake of June 16, 1964. Part 2. Estimation of earthquake movement, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum // Bull. Earthq. Res. Inst. 1966. V. 44. P. 73-88.
- 3. Båth M. Earthquake magnitude recent research and current trends // Earth-Science Reviews. 1981. V. 17. № 4. P. 315-398.
- 4. Bormann P., Wendt S., and DiGiacomo D., Seismic sources and source parameters, in New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP2), Bormann P., Ed., Potsdam : Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2013. P. 1-259.
- 5. Dziewonski A. M., Chou T. A., Woodhouse J. H. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1981. V. 86. № B4. P. 2825-2852.
- 6. Ekström G., Nettles M., Dziewoński A. M. The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2012. V. 200. P. 1-9.
- 7. Gutenberg B. Amplitudes of P, PP, and S and magnitude of shallow earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. 1945. V. 35. № 2. P. 57-69.
- 8. Gutenberg B. Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. 1945. V. 35. № 1. P. 3-12.
- 9. Gutenberg B., Richter C. F. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration // Bulletin of the Seismological Society of America. 1942. V. 32. № 3. P. 163-191.
- 10. Hanks T. C., Kanamori H. A moment magnitude scale // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1979. V. 84. № B5. P. 2348-2350.
- 11. Kanamori H. The energy release in great earthquakes // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1977. V. 82. № 20. P. 2981-2987.
- 12. Petersen T., Gledhill K., Chadwick M., Gale N. H., Ristau J. The New Zealand national seismograph network // Seismological Research Letters. 2011. V. 82. № 1. P. 9-20.

- 13. Richter C. F. An instrumental earthquake magnitude scale // Bulletin of the Seismological Society of America. 1935. V. 25. № 1. P. 1-32.
- Ristau J., Harte D., Salichon J. A revised local magnitude (ML) scale for New Zealand earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. 2016. V. 106. № 2. P. 398-407.
- 15. Ristau J. Implementation of routine regional moment tensor analysis in New Zealand // Seismological Research Letters. 2008. V. 79. № 3. P. 400-415.
- 16. Rebuild of the Bulletin of the International Seismological Centre (ISC), part 1: 1964–1979 / Storchak D. A. [et al] // Geoscience Letters. 2017. V. 4. № 1. P. 4-32.

ON MAGNITUDE RELATIONSHIP USING THE EARTHQUAKE CATALOGS FOR NEW ZEALAND

^{1,2}Aleksei S. Muryskin ¹PSU, ²MI UB RAS, Perm muriskinas@gmail.com

Summary. Nowadays, to classify earthquakes in seismically active regions of the world, several magnitude scales are defined globally $(M_W^{\text{GCMT}}, m_b^{\text{ISC}}, M_S^{\text{ISC}})$ and regionally (M_W^{RCMT}, M_L) . Such scales are usually related to each other by empirical correlations. Stability of such relationships are checked using 1300 earthquakes of New Zealand with $M \ge 4$ during 2010-2017 within 40–45°S, 170–175°E and with depth of less than 100 km.

Key words: earthquake, magnitude, regional magnitude, moment magnitude, GeoNet seismic network, New Zealand.

УДК 550.83

ПРОБЛЕМЫ СКВАЖИННОГО И НАЗЕМНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Овчинникова Елизавета Александровна ПГНИУ, г. Пермь lizagfzpsu@gmail.com

Аннотация. Микросейсмический мониторинг является инновационной геофизической технологией контроля простирания, размеров и геометрии трещинной зоны ГРП. В статье рассматриваются технологические особенности методов скважинного и наземного микросейсмического мониторинга на основе анализа данных, полученных на нефтяных месторождениях Пермского края.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, скважинный и поверхностный микросейсмический мониторинг.

Гидроразрыв пласта (ГРП) является распространенной методикой интенсификации добычи углеводородов. С его помощью в слабопроницаемом массиве пород создается трещина (или система трещин), которая обеспечивает увеличенный приток газа или флюида в скважину. Однако, как показывает практика, около половины выполненных операций ГРП не достигает желаемого эффекта. Поэтому не возникает сомнений,
что такие «агрессивные» методы воздействия на коллектор, как операции ГРП, должны обязательно сопровождаться процедурами контроля – мониторингом.

Опыт нефтегазовых сервисных компаний, разрабатывающих технологии контроля ГРП, показал, что в настоящее время наиболее успешно эта задача решается с помощью микросейсмического мониторинга [1]. Микросейсмика позволяет определять геометрию гидроразрыва пласта на достаточно больших расстояниях от места наблюдения (в скважинах или на поверхности), а также получать диагностические изображения в процессе образования и развития разрыва, оценивать фильтрационный режим трещинных зон и др.

Метод основан на предположении, что постепенный рост трещины при ГРП состоит из образования большого количества мелких разрывов – микросейсмических событий, волны от которых можно наблюдать с помощью сейсмических систем наблюдений. Микросейсмические «события» в зоне трещины, инициированные возникновением разрыва, представляют собой источники сейсмической эмиссии (или микросейсмических тресков) в зоне воздействия на пласт. Эмиссия вызвана изменением энергетического баланса вследствие изменения напряженно-деформированного состояния пород при образовании разрыва. Основным результатом обработки данных, как правило, является локация микросейсмических событий, то есть определение их гипоцентров.

Для регистрации глубинного микросейсмического излучения используются как скважинные, так и поверхностные наблюдения [2, 5]. Скважинная система наблюдений представляет собой расстановку трехкомпонентных сейсмоприемников, расположенных в вертикальной скважине, находящейся недалеко от скважины, в которой делается ГРП (рис. 1). Длина расстановки варьирует от сотни до нескольких сотен метров, а ее положение рассчитывается так, чтобы по глубинам сейсмоприемники перекрывали тот интервал, в котором предполагается возникновение микросейсм. При наземной системе наблюдений сейсмоприемники располагаются по площади на поверхности земли над тем местом, где предположены в виде расходящихся лучей, достаточно регулярных по площади. В современных системах наблюдений линейные размеры расстановок сопоставимы с ожидаемой глубиной образования трещины ГРП.



Рис. 1. Общая схема наблюдений скважинного микросейсмического мониторинга ГРП



Рис. 2. Общая схема наблюдений наземного микросейсмического мониторинга ГРП

Основным преимуществом скважинной системы наблюдений считается расположение сейсмоприемников в относительно малошумных условиях (в скважине). Однако, необходима приостановка бурения скважин и других шумных работ в окрестности объекта ГРП. Ненадлежащее выполнение этого условия может привести к серьезному осложнению интерпретации данных, а также к безуспешной регистрации микросейсмических событий, так как изучаемая область может быть сильно маскирована техногенными помехами. Например, при проведении работ на одном из месторождений Пермского края техногенные помехи происходили до, во время и после ГРП.

Причиной такого количества техногенных помех могли быть качалки (насосы), находящиеся на кусте ГРП и активно работающие в момент его проведения, цех по добыче/утилизации технической жидкости, который располагался недалеко от наблюдательной скважины, а также и сам флот ГРП. Для обеспечения максимально благоприятных условий при проведении микросейсмического мониторинга необходимо остановить все технологические процессы, являющиеся источниками сейсмических помех, в радиусе 1 км от скважины ГРП и скважины наблюдения.

Другими немаловажными факторами, влияющими на качество полезного сигнала, могут быть:

1) Дистанции между зоной ГРП и интервалом регистрации. Необходимо тщательно подбирать кандидаты скважин с расстоянием между интервалами перфорации в скважине ГРП и расположением косы датчиков в наблюдательной скважине не больше первых сотен метров.

2) Дистанция между скважиной ГРП и наблюдательной скважиной. В случае большого расстояния между ГРП и наблюдательной скважиной следует использовать 4Д ВСП (до и после ГРП) с активным сейсмическим источником.

3) Адекватность используемой скоростной модели. Необходимо заранее предоставлять данные акустического каротажа для построения скоростной модели и дизайна ГРП. Также необходимо откалибровать модель по записям перфорационных взрывов в стволе скважины. Для улучшения качества записи и пространственного разрешения можно использовать несколько наблюдательных скважин, но это приведет к удорожанию работ.

В России наибольшее распространение получили более дешевые наземные наблюдения с использованием площадных сейсмических расстановок с большой апертурой и большим количеством приемников. Высокая кратность накапливания и специальные приемы обработки по алгоритмам сейсмоэмиссионной томографии высокого разрешения позволяют уверенно выделять слабые глубинные микросейсмические сигналы из зоны ГРП на фоне интенсивных поверхностных помех.

Использование площадной поверхностной системы наблюдений позволяет хорошо определять горизонтальное положение (эпицентр) микросейсмических событий, расположенных под ней. При условии использования алгоритма относительной локации используемая мониторинговая система позволяет добиться приемлемой точности определения координат эпицентра в районе проведения ГРП (рис.3) [3].



Рис.3. Ошибка относительной локации

Однако для успешного использования когерентного суммирования необходимо провести калибровку скоростной модели по перфорационным взрывам. Такая калибровка позволяет учитывать также неоднородности верхней части разреза при условии, что гипоцентры микросейсмических событий расположены близко к калибровочным взрывам по сравнению с расстоянием до приемников. Однако сигналы при регистрации калибровочных выстрелов перфоратора ГРП могут не прослеживаться по всей длине профилей расстановки. Это не позволяет произвести полную калибровку, включая коррекцию статических поправок для всех пунктов приема, и вынуждает уменьшать апертуру, снижая тем самым оптическую разрешающую способность метода. Последняя непосредственно влияет на точность локализации источников.

Основными факторами, ухудшающими точность локации событий, могут являться низкое отношение сигнал/помеха и большое расстояние от источника (несколько километров). Для улучшения качества полевых материалов и, соответственно, надежности их интерпретации целесообразным представляется использование заглубленных (скважинных) датчиков. Практические исследования показали, что в мониторинговой системе таких датчиков должно быть минимум 10 штук [4].

Очевидно, выбор оптимальной технологии микросейсмического мониторинга ГРП должен определяться с учетом всех отмеченных факторов и соотношения цена/качество. Технология скважинного микросейсмического мониторинга ГРП, несмотря на более высокую стоимость работ по сравнению с наземной технологией, часто является единственным инструментом для контроля ГРП, например, в условиях глубокозалегающих целевых пластов и при приоритете задач контроля развития трещинной зоны ГРП по высоте с целью прогноза прорыва трещины в соседние водонасыщенные горизонты. Если основное назначение работ заключается в решении стандартной задачи по определению простирания, размеров и в оценке фильтрационных свойств трещинной зоны ГРП, то во многих случаях оптимальным выбором является наземный мониторинг, позволяющий сэкономить существенные средства.

Автор выражает благодарность «ГИ УрО РАН» за предоставление данных, а так же Шулакову Д.Ю. за консультирование во время написания работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Maxwell S. C., Urbancic T. I. The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field // The Leading Edge. 2001. №6. P. 636-639.
- 2. Александров С. И., Мишин В. А., Буров Д. И. Наземный микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта: контроль качества и перспективы // Экспозиция Нефть и Газ. 2014. №2. С.31-34.
- 3. Возможность использования скважин малой глубины для повышения качества исходных сейсмограмм при микросейсмическом мониторинге гидроразрыва пласта / Овчинникова Е. А. [и др.] // Геофизика. 2018. №5. С. 81-84.
- 4. Применение микросейсмического мониторинга для контроля гидроразрыва пласта на Быркинском месторождении / Овчинникова Е. А. [и др.] // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. 2018. С. 318-323.
- 5. Шмаков Ф. Д. Методика обработки и интерпретации данных наземного микросейсмического мониторинга месторождений углеводородов // Технологии сейсморазведки. 2012. № 3. С. 65-72.

BOREHOLE AND SURFACE MICROSEISMIC HYDROFRAC MONITORING PROBLEMS

Elizaveta A. Ovchinnikova PSU, Perm lizagfzpsu@gmail.com

Summary. The microseismic monitoring is an innovative geophysical technology that is normally employed to determine the geometrics of a fractured zone created by hydrofrac operations. This article deals with the technological features of both surface and borehole methods of microseismic monitoring, which are based on the experience in Perm region oil fields.

Key words: reservoir hydrofracturing, borehole and surface microseismic monitoring.

УДК 550.34 ОЦЕНКА МАГНИТУДНЫХ НЕВЯЗОК ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «СТОРОЖЕВОЕ»

^{1,2}Пивоваров Роман Сергеевич, ^{1,2,3} Калинина Элеонора Владимировна ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, ²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж, ³ИДГ РАН, г. Москва q5000@mail.ru, elakalinina@gmail.com

Аннотация: Представлены результаты исследования погрешностей при определении магнитуд телесейсмических землетрясений, происходящих в различных регионах.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда.

В практике обработки записей землетрясений на различных сейсмических станциях периодически наблюдаются отклонения значений магнитуд (ΔМ) как в сторону завышения, так и занижения от значений магнитуд, полученных в результате сводной обработки в Информационно-обрабатывающем центре [5].

В настоящей работе представлены результаты исследований полученных отклонений в оценке магнитуд телесейсмических землетрясений, происходящих в различных сейсмоактивных регионах. При этом использовались записи землетрясений сейсмической станции Воронежской региональной сети «Сторожевое» (VSR) и данные Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [4].

Сейсмическая станция «Сторожевое» расположена в пределах Лосевской шовной зоны (рис. 1, 2).

Глубина залегания кристаллического основания составляет +25 м, отметка дневного рельефа 180 м. Осадочный чехол, мощностью 150-160 м, сложен отложениями аргиллитоподобных глин с прослоями известняков, известняками с прослоями глин, мелом, суглинками и песками, залегает на кристаллическом основании, представленном лосевской вулканогенно-осадочной толщей [2, 3].

В качестве исходного материала были использованы данные о землетрясениях, зарегистрированных сейсмической станцией «Сторожевое» за 2015 и 2016 гг. Всего за этот период было отобрано более 450 землетрясений. Для каждого выбранного землетрясения рассчитывалась погрешность в определении магнитуды по формуле: $\Delta M = M_{c6} - M_{c/c}$ (где M_{c6} – магнитуда сейсмического события по данным сводного сейсмологического бюллетеня (ФИЦ ЕГС РАН), $M_{c/c}$ – магнитуда, определениая сейсмической станцией «Сторожевое»). На рисунке 3 показано распределение магнитудных невязок.

В результате исследования отклонений в оценке магнитуд телесейсмических землетрясений по данным сейсмической станции «Сторожевое», выделены пять представительных зон. Зоны 1, 2, 4 (рис. 3) характеризуются преимущественно заниженными значениями магнитуд относительно сейсмического бюллетеня. Зона 3 характеризуется завышенными значениями магнитуд. В зоне 5 не наблюдается значимых отклонений в определении магнитуд.



1 – тектонические разломы различного ранга; 2 – зоны сочленения геоблоков; 3 – с/с «Сторожевое»

Рис. 1. Схема расположения сейсмической станции



1 – суглинки; 2 – мел; 3 – мергели; 4 – известняки; 5 – песчаники; 6 – песок; 7 – глины;8 – алевролиты; 9 – аргиллиты; 10 – коренные породы

Рис. 2. Разрез осадочного чехла в районе расположения сейсмостанции

(по данным ПГО «Воронежгеология»)



1 – минимальные отклонения в определении магнитуды, 2 – заниженные значения в определении магнитуды, 3 – завышенные значения в определении магнитуды, 4 – выделенные зоны, 5 – район расположения сейсмической станции
 Рис. 3. Схема пространственного распределения эпицентров землетрясения

Рис. 3. Схема пространственного распределения эпицентров землетрясени с различными отклонениями в определении магнитуд

Зоны 2 и 3 находятся в непосредственной близости друг от друга. При этом имеют разнополярную погрешность в оценке магнитуды. Зоны четко разграничены относительно друг друга. Зона 3 имеет более протяженную форму относительно зоны 2.

Ранее проведенный анализ пространственного распределения погрешностей в определении магнитуд ΔM по данным сейсмической станции «Галичья гора» показал,

что выделяются зоны, в которых также наблюдаются закономерные погрешности в определении магнитуд [1]. Сопоставляя полученные результаты анализа с предыдущей работой, часть ранее выделенных зон не подтвердилась. В то же время зоны 1, 2, 4, 5 нашли отражение в новых исследованиях. Новая обозначенная зона 3 менее выражена по сейсмической станции «Галичья гора», что не позволило ранее ее выделить.

Выводы.

Текущая работа позволила уточнить ранее полученные результаты. Выделены зоны подтверждающие результаты предыдущего исследования, что говорит о некоторых закономерностях в определении магнитуд сейсмическими станциями Воронежской сети. Необходимо в дальнейшем провести дополнительные исследования для уточнения полученных результатов.

Погрешности в определении магнитуд могут зависеть от характера процессов в очаге, от путей прохождения волн, геологических условий в районе размещения станции. Поэтому необходимо выявить причины, влияющие на отклонения в определении магнитуд. Информация о причинах возникновения магнитудных невязок может позволить в дальнейшем ввести станционную поправку для уменьшения величины погрешности.

Авторы выражают благодарность за помощь в написании работы и за консультации всему коллективу ЛСМ ВКМ, в особенности: зав. лаб. Надежке Л.И., Ефременко М.А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ефременко М. А., Пивоваров Р. С., Калинина Э. В. Оценка магнитудных невязок для сейсмической станции "Галичья гора" // Материалы XII международной сейсмологической школы. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 163-165.
- 2. Сеть сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива / Надежка Л. И. [и др.] // Материалы четвертой международной сейсмической школы. Обнинск : ГС РАН, 2009. С. 117-122.
- 3. Пивоваров С. П., Ефременко М. А., Пивоваров Р. С. Регистрационные возможности сейсмической станции «Сторожевое» // Материалы Седьмой международной сейсмологической школы. Обнинск : ГС РАН, 2012. С. 259-261.
- 4. Сейсмологические каталоги и бюллетень [электронный pecypc] // URL: http://www.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl.
- Синельникова Л. Г. О поправках Δm_{pv} по наблюдениям сейсмической станции «Петропавловск» // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М. : ИФЗ АН СССР, 1974. С. 65-68.

ESTIMATION OF MAGNITUDE ERRORS FOR A BROADBAND SEISMIC STATION «STOROZHEVOYE»

^{1,2}Roman S. Pivovarov, ^{1,2,3}Eleonora V. Kalinina ¹GS RAS, ²VSU, Voronesh, ³IDG RAS, Moscow q5000@mail.ru, elakalinina@gmail.com

Summary: The paper, presents the results of errors investigation in the task of magnitude estimation for teleseismic earthquakes occurring in different seismically active regions.

Keywords: earthquake, magnitude.

УДК 550.834 ПРЕЛОМЛЯЮЩИЕ ГОРИЗОНТЫ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОПОРНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ

Полянский Павел Олегович АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск PPavel6.10@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты динамического пересчета данных преломленных волн, зарегистрированных на опорных профилях 3-ДВ и 1-СБ по системам наблюдения с многократными перекрытиями. Предложен и обоснован подход к выявлению наличия эффекта рефракции в верхней части земной коры. Построены сейсмические модели верхней части земной коры по интервалу глубин 0-2 км.

Ключевые слова: цифровая обработка сейсмических данных, временные разрезы, опорный геофизический профиль, Сибирская платформа, рефракция.

Введение. Сейсмические исследования на опорных геофизических профилях, расположенных в малоизученных областях северо-востока России, позволяют создать принципиально новые модели строения земной коры, играющие исключительную роль в решении задач прогноза месторождений металлов и углеводородов. Вдоль профилей выполняются работы по методам ГСЗ (глубинное сейсмическое зондирование), МОВ-ОГТ (метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки) и КМПВ (корреляционный метод преломленных волн). Этот комплекс призван дополнять друг друга при изучении разных интервалов глубин в земной коре и верхней части мантии. При этом используемые до недавнего времени методы обработки данных не обеспечивают изучения структуры и свойств сейсмических границ в верхней части земной коры. Такая информация содержится в данных преломленных в верхней части земной коры волн, которые регистрируются в рамках плотных систем наблюдения МОВ-ОГТ. Метод динамического пересчета, обоснованный в работах [2, 3], позволил производить цифровую автоматизированную обработку данных преломленных волн по таким системам наблюдения. Описываемые в статье исследования нацелены на получение дополнительной информации о строении и геологической природе преломляющих границ в верхней части земной коры на участках опорных профилей общей протяженностью более 3000 км [4, 5, 6], которая при существующих ранее подходах к обработке не извлекалась.

Динамический пересчет головных волн на опорных профилях 1-СБ и 3-ДВ для исследования характеристик преломляющих границ верхней части земной коры. Цифровая обработка методом динамического пересчета [2] основана на свойстве когерентности головных волн по пространству (параллельности нагоняющих годографов этих волн). Ее результатами являются временные разрезы по преломленным волнам, а также динамические годографы этих волн. Временной разрез, в рамках метода, представляет собой набор трасс с одинаковым удалением источник-сейсмоприемник, на котором присутствуют только сигналы волн с параллельными нагоняющими годографами. Таким образом, волновые поля других типов (отраженные волны, дифрагированные волны и т.д.), не обладающие свойством пространственной когерентности, а также случайные помехи в результате обработки подавляются. Временной разрез отображает динамические формы поля головных волн и их изменение по линии профиля. Два временных разреза на разных базах, построенные по области прослеживания одной и той же преломленной волны, позволяют определить ее граничную скорость.

Опорные профили 1-СБ и 3-ДВ общей протяженностью более 4000 км пересекают разнообразные тектонические структуры Сибирской платформы, Центрально-Азиатского складчатого пояса и Верхояно-Колымской складчатой системы. Данные преломленных волн, регистрируемых по системам наблюдения МОВ-ОГТ с многократными перекрытиями, содержат уникальную информацию о строении верхней части земной коры. На рис. 1а приведен временной разрез по фрагменту 32-65 км опорного профиля 1-СБ, на рис. 1б показан соответствующий этому же интервалу профиля сейсмический разрез.



Рис. 1. Опорный профиль 1-СБ: а) временной разрез (удаление источниксейсмоприемник 7 км) по интервалу профиля 32-65 км; б) сейсмический разрез по интервалу профиля 32-62 км

В пределах Заурулюнгуйского блока (интервал профиля 1-СБ 32-65 км), расположенного в Восточно-Забайкальской складчатой системе, в верхней части земной коры выделен линзообразный слой со средней скоростью продольных волн 2.8-3.1 км/с, сложенный осадочными породами. Нижняя граница этой толщи залегает в интервале глубин 0.4-1 км, характеризуется граничной скоростью продольных волн 5.1-5.45 км/с.

На рис. 2а представлен временной разрез по интервалу профиля 1-СБ (400-430 км), расположенному в пределах Монголо-Охотского складчатого пояса. В первых вступлениях временного разреза прослеживается непрерывная ось синфазности, соответствующая продольным преломленным волнам. Несмотря на это, волны, прослеживаемые в первых вступлениях временного разреза, не всегда соответствуют одной и той же преломляющей границы. На рассматриваемом временном разрезе, между отметками 420 и 422 км, происходит смена волн первых вступлений. Преломляющая граница, показанная цифрой 1 на рис. 26, характеризуется граничной скоростью, изменяющейся по латерали от 5.4 до 4.7 км/с, эта граница располагается на глубине 0.5-1.5 км. Толща пород, залегающих выше, характеризуется средней скоростью продольных волн 2.8-3.6 км/с. На отрезке профиля 421-430 км, на глубине 1.6-1.9 км выявлена преломляющая граница (показана цифрой 2 на рис. 26), вероятно, представляет собой кровлю кристаллического фундамента. Граничная скорость продольных преломленных волн, соответствующих этой границе составляет 6.2-6.3 км/с. Средняя скорость продольных волн в вышележащей толще составляет 4.2-4.5 км/с.



Рис. 2. Опорный профиль 1-СБ: а) временной разрез (удаление источниксейсмоприемник 7 км) по интервалу профиля 400-435 км; б) сейсмический разрез по интервалу профиля 400-435 км

Природа преломляющих границ верхней части коры складчатых областей (Южный участок профиля 3-ДВ). Результатом применения алгоритмов динамического пересчета является выделенная когерентная составляющая волнового поля – волны с параллельными нагоняющими годографами. В случае наличия эффекта проницания, параллельность нагоняющих годографов нарушается, а влияние эффекта рефракции спектр сигналов-результатов динамического пересчета эквивалентно низкочастотной фильтрации [3]. Вместе с этим, вопрос о существовании рефракции является ключевым для определения природы пологозалегающих преломляющих границ в верхней части земной коры складчатых областей. Для выявления рефракции и оценки вертикального градиента скорости, было оценено латеральное изменение частотных спектров исходных сейсмических трасс (ограничены линиями 1 на рис. 3), а также латеральное изменение по всей длине Южного участка профиля 3-ДВ спектров трасс, являющихся результатами динамического пересчета (ограничены линиями 2 на рис. 3).



Рис. 3. Частотные спектры сигналов, зарегистрированных на Южном участке профиля 3-ДВ, а также спектры сигналов, полученных в результате динамического пересчета

На Южном участке частотный диапазон излучаемого свип-сигнала составлял 12-48 Гц. Однако, в зависимости от структуры и строения геологической среды, в которой распространялись сейсмические волны, частотный состав регистрируемых сигналов значительно менялся по латерали – выделяются части профиля, ограниченные стрелками А, В, С. Волновое поле части А, включающей в себя структуры Становой складчатой области, характеризуется спектром исходных сигналов 12-(40÷45) Гц. в то время как спектр когерентных составляющих волнового поля – 12-(30÷40) Гц. Часть профиля (ограничена стрелкой С), расположенная в пределах Среднеленской моноклизы, характеризуется более низкочастотным спектром когерентных составляющих, в сравнении со спектром исходного волнового поля (12-35 Гц и 12-(40÷45) Гц соответственно). Частотный состав исходного волнового поля в части профиля, пересекающей Чульманскую впадину (ограничена стрелкой В), аналогичен частотному составу выделенных когерентных сигналов (12-(35÷37) Гц).

Для того, чтобы определить, связаны ли наблюдаемые различия в частотном составе исходных данных и результатов динамического пересчета с эффектом рефракции, а также оценить коэффициенты рефракции, были рассмотрены функции разности нагоняющих годографов преломленных волн. Алгоритм вычисления коэффициентов рефракции описан в [6]. В результате было выявлено наличие сильной рефракции в Становой складчатой области (коэффициент рефракции составляет 0.15 км⁻¹) и в зоне Среднеленской моноклизы (0.23 км⁻¹). В верхней части земной коры в области Чульманской впадины рефракция незначительна или отсутствует. Таким образом, было установлено, что преломляющие границы в верхней части земной коры складчатых областей относятся к сейсмическим границам 2-го рода.



Рис. 4. Сейсмический разрез по всей длине Южного участка профиля 3-ДВ

На рис. 4 приведен сейсмический разрез по верхней части земной коры по Южному участку профиля 3-ДВ. В рамках данной статьи, уделим внимание интервалу профиля 285-450 км, секущий Чульманскую впадину. Строение верхней части земной коры в данной зоне несколько более сложное, чем в сопряженных областях [6]. На интервале глубин 0.2-0.5 км прослеживается выпуклая вверх преломляющая граница, «выклинивающаяся» на отметках 285 км и 450 км. Граничная скорость продольных преломленных на этой границе волн – 4.3-4.5 км/с. Как было обосновано в предыдущем разделе, преломляющая граница, показанная оранжевой линией, является границей 1-го рода. Отметим, что южная и северная границы «линзовидной» низкоскоростной области совпадают с границами зоны пониженной плотности [1]. Скорость продольных волн в угле-вмещающих горных породах колеблется, как правило, в диапазоне 3-4 км/с [1], а для «линзообразной» толщи характерна средняя скорость продольных волн 3.5 км/с. В то же время плотность каменного угля изменяется в пределах 1.4-1.6 г/см³ [1], что примерно в два раза ниже, чем плотность осадочных вмещающих пород. Таким образом, повышенное содержание угля в горных породах может являться причиной пониженных значений плотности, фиксируемых в рассматриваемой части разреза. Поэтому, вероятно, в пределах линзовидной толщи, залегающей в диапазоне глубин 0.2-0.5 км, расположены месторождения каменного угля.

На отрезке 300-360 км фиксируется еще одна преломляющая граница, расположенная на глубинах 1.8-1.9 км. Граничная скорость продольных волн на этой границе составляет 6-6.1 км/с, а средняя скорость в вышележащей толще – 4.4 км/с. Значения граничной скорости продольных волн, фиксируемые на этой границе, очень высоки для осадочных, но характерны для магматических пород [1]. Это позволяет предположить, что рассматриваемая преломляющая граница 1-го рода представляет собой кровлю кристаллического фундамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Дортман Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. 2-е изд. М. : Недра, 1984. 455 с.
- 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.920102.
- 4. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-Западный участок) / Полянский П.О. [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. №2. С.112-122.
- 5. Динамический пересчет головных волн на Центральном участке опорного профиля 3-ДВ: особенности методики и интерпретация временных разрезов / Полянский П.О. [и др.] // Геофизические исследования. 2019. Т.19. №2. С. 5-33.
- 6. Полянский П. О., Еманов А. Ф., Сальников А. С. Изучение характеристик преломляющих горизонтов верхней части земной коры на Южном участке профиля 3-ДВ // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т.2. №4. С. 17-25.

REFRACTION BOUNDARIES SUBSTRACTED BY TECHNIQUE OF SPATIAL COHERENCE ON THE UPPER EARTH CRUST ON REFERENCE GEOPHYSICAL TRAVERSES

Pavel O. Polyanskiy ASB GS RAS, Novosibirsk PPavel6.10@gmail.com

Summary. Results of head waves dynamic conversion are presented in article. Seismic data which are processed by technique of dynamic conversion, are registered on reference geophysical traverses 1-SB and 3-DV. Technique to find effect of refraction on the upper Earth crust is proposed and proved. Seismic models of interval of 0-2 km are constructed.

Key words: Digital processing of seismic data, time sections, reference geophysical traverse, Siberian platform, seismic refraction.

УДК 550.344.56 ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ АМПЛИТУДЫ ФОНОВОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА С ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ДЖАУ-ТЕПЕ)

¹Преснов Дмитрий Александрович, Жостков Руслан Александрович, Котов Андрей Николаевич ИФЗ РАН, г. Москва ¹presnov@physics.msu.ru

Аннотация. Сейсмический шум, сформированный волнами поверхностного типа, все более активно применяется для изучения строения Земли в различных масштабах. В настоящей работе на основе численного моделирования вертикально слоистой среды и данных экспериментальных измерений изучается зависимость величины относительной амплитуды регистрируемых поверхностных волн от параметров среды на различной глубине.

Ключевые слова: фоновый сейсмический шум, поверхностная волна Рэлея, слоистая среда, микросейсмы, глубинное строение, грязевой вулканизм.

Сейсмический шум, сформированный волнами поверхностного типа, все более активно применяется для изучения строения Земли в различных масштабах. Это обусловлено тем, что амплитуда поверхностных волн убывает из-за геометрического расхождения значительно медленнее, чем у обычных, объемных волн. По определению амплитуда поверхностных волн быстро спадает при удалении точки наблюдения от поверхности, причем их основная энергия сосредоточена в верхней толще размером порядка длины волны. Указанное свойство позволяет использовать компоненты микросейсмического шума с различными длинами волн (или с разной частотой) для изучения характеристик среды, расположенных на различной глубине. На сегодняшний день можно считать хорошо обоснованными и достоверными пассивные методы изучения глубинного строения геологической среды, использующие в своей основе экспериментально измеряемую зависимость скорости пробега поверхностной волны от частоты, то есть дисперсионную кривую [8, 4, 7]. Другим экспериментально определяемым параметром шумового волнового процесса является амплитуда, однако методы оценки свойств среды на его основе только начинают свое активное развитие и применение [1, 3]. Это обусловлено в первую очередь тем, что динамические параметры сигнала в большей степени определяются параметрами самого источника, а не средой распространения, делая процедуру обработки шумовых сигналов достаточно сложной. Цель настоящей работы – выявить достоверные закономерности между измеряемыми динамическими параметрами шумового сейсмического фона и параметрами геологической среды, расположенными на различной глубине.

Физический принцип, лежащий в основе амплитудных методов, заключается в сохранении потока энергии поверхностной волны, что приводит к локальному увеличению амплитуды при прохождении волны из среды с большей скоростью распространения в среду с меньшей скоростью и наоборот, уменьшению амплитуды при прохождении из медленной среды в быструю. В настоящем исследовании мы будем основываться на результатах работы [1] для экспериментальной оценки амплитудных параметров шумового сигнала, не зависящих от природы и пространственного распределе-

ния источников, и не касаться вопросов правомерности такого способа. В соответствии с этим подходом, оцениваются статистически значимые отношения амплитудных спектров в точке измерения $W_i(f)$, (находящейся в районе предположительной неоднородности) и в базовой точке $W_0(f)$, удаленной от неоднородности. Предполагается, что удаленные источники поверхностных волн равномерно распределены в горизонтальной плоскости, создавая тем самым диффузное шумовое поле. Тогда, при рассмотрении двумерного случая (профильных измерений), изменения амплитуды, связанные со спектральным составом источников излучения в результирующей величине $I_i(f) = W_i(f)/W_0(f)$, нивелируются. Однако, величина $I_i(f)$ характеризует не только строение среды в точке измерений, так как остается зависимость от строения среды под базовой точкой. В настоящей работе мы будем считать, что основной вклад в шумовое поле вносит фундаментальная мода поверхностной волны Рэлея, при этом при упоминании амплитуды всегда будем иметь в виду только вертикальную компоненту колебательной скорости.

Обычно [1, 6] при построении геофизического разреза среды в изучаемом регионе используется линейная эмпирическая связь между глубиной расположения неоднородности и длиной волны рассматриваемой волны Рэлея. Однако, как известно из результатов исследования дисперсионных свойств поверхностных волн, эта зависимость совсем не линейная. На это обстоятельство было указано и в работе [3], где подчеркивалось, что амплитуда поверхностной волны определяется не только неоднородностью среды, расположенной на глубине порядка половины длины волны, но и всеми вышележащими параметрами среды, через которые распространяется поверхностная волна. Как было отмечено в [6], амплитудные, как и скоростные, характеристики шумового микросейсмического поля удобно описывать на основе теории поверхностных волн, а именно в рамках математической модели вертикально слоистой среды. Такой подход применяется при инверсии дисперсионных кривых скорости, когда к экспериментально измеренной кривой подбирается рассчитанная теоретически в рамках слоистой модели кривая. Если распространить этот метод и на амплитуды поверхностных волн, то первым этапом интерпретации данных должна быть численная оценка чувствительности амплитуды поверхностных волн к вариациям параметров слоистой среды, расположенных на различной глубине.

В качестве упругих параметров слоев мы будем использовать плотности ρ , скорости поперечных V_s и продольных V_p волн, которые связаны с модулем объемного сжатия K, модулем сдвига μ стандартными соотношениями: $V_p = \sqrt{(K + 4\mu/3)/\rho}$, $V_s = \sqrt{\mu/\rho}$. Таким образом, представляет интерес вычисление частных производных амплитуды волны Рэлея на верхней свободной границе слоистой среды $W(f, V_p, V_s, \rho)$ по параметрам $V_p(z)$, $V_s(z)$, $\rho(z)$ задающих упругие свойства слоев, расположенных на различной глубине z. Такая частная производная показывает, насколько сильно изменение упругих параметров на некоторой глубине влияет на измеряемую на поверхности амплитуду поверхностной волны с конкретной частотой. Численная оценка частных производных может быть выполнена только в рамках некоторой априори известной модели среды для заданного региона, поэтому перейдем к рассмотрению конкретного эксперимента.

Нами будут использоваться результаты полевого эксперимента на самом крупном грязевом вулкане Крымского полуострова Джау-Тепе [5]. В качестве измерительной аппаратуры использовались вертикальные велосиметры СМЗ-ОС, имеющие достаточную чувствительность в полосе частот 0.03-10 Гц. Измерения в каждой точке велись более 2.5 часов. В результате анализа литературных данных нами была выбрана исходная скоростная модель земной коры Крыма, полученная в результате новой интерпретации данных ГСЗ [2]. На первом этапе настоящего исследования ограничимся рассмотрением только влияния скорости поперечных волн в слоях на амплитуду измеряемого сигнала. Полученный в работе [2] скоростной профиль Феодосия-Керчь $V_p(z)$ был пересчитан в разрез $V_s^0(z)$ из 64 равномерно распределенных слоев с шагом ~700 метров (рис. 1а), который использовался в дальнейшем как исходная однородная модель.



Рис. 1. (а) – начальная модель среды, (б) – частная производная амплитуды поверхностной волны, (в) – частная производная скорости поверхностной волны; в рамках указаны значения частоты волны, для которой выполнялся расчет

Численный расчет амплитуды волны Рэлея в вертикальной слоистой среде выполнялся в настоящей работе с помощью метода конечных элементов, реализованного в пакете Comsol. Для этого была создана двумерная модель, разделенная вертикальной прямой, отделяющей однородное полупространство, в котором задавалось воздействие в виде поверхностной волны, от слоистой по вертикали среды, на верхней границе которой размещался приемник. Численная оценка частной производной $\partial W/\partial V_s(f,z)$ выполнялась для фиксированного набора частот источника f = 0.03, 0.0375, 0.045, 0.0525, 0.06 Гц и набора из 64 слоев, расположенных на глубинах z. Таким образом, для получения значения частной производной в одной точке $\{f_j, z_k\}$ требовалось рассчитать приращение $\Delta W = W^-(f_j, z_k) - W^+(f_j, z_k)$, где $W^-(f_j, z_k) - aмплитуда$ волны Рэлея частоты f_j на поверхности в слоистой модели среды $V_s^-(z) = V_s^0(z) - \Delta V_s(z_k)$, для которой в слое, расположенном на глубине z_k , скорость поперечных волн уменьшалась относительно однородной модели на величину ΔV_s ; аналогично $W^+(f_j, z_k)$ – амплитуда, рассчитанная для модели, в которой скорость в том же слое увеличивалась на ΔV_s . Задавая возмущение скорости ΔV_s достаточно малым, в нашем случае равным 0.1 км/с, получим численное значение частной производной:

 $\frac{\partial W}{\partial V_s}(f,z) = \frac{\Delta W(f,z)}{2\Delta V_s}$

На рис. 16 для пяти частот (оттенки серого) приведены рассчитанные значения частных производных, показывающие чувствительность амплитуды волны Рэлея к скорости поперечных волн в слоях, расположенных на различной глубине. Для примера на рис. 1в приведена чувствительность фазовой скорости к вариациям параметров среды. Анализируя графики, заметим, что для рассматриваемой исходной модели кривые чувствительности являются достаточно сложными и имеют несколько локальных максимумов, один из которых находится на глубине порядка половины длины волны, а другой, причем более сильный, вблизи поверхности. Это указывает на то, что в первую очередь на измеряемые характеристики сигнала влияние будут оказывать именно неоднородности, расположенные на небольшой глубине. Более того, чувствительность амплитуды меняет знак, что означает, что увеличение скорости в слое может приводить как к убыванию амплитуды, так и к возрастанию. Представленные графики также позволяют оценивать разрешающую способность данных.

Рассчитанные частные производные позволяют сформулировать обратную задачу для восстановления параметров среды в линейном приближении, при условии, что значения этих параметров в слоистой модели слабо отличаются от начальной модели. Обозначая $dW = W^{\mathfrak{I}} - W^{\mathfrak{M}}$, где $W^{\mathfrak{I}} - \mathfrak{I}$ кспериментально измеренная амплитуда, $W^{\mathfrak{M}} - \mathfrak{I}$ амплитуда, рассчитанная численно в рамках начальной модели V_s^0 и $dV_s = V_s^{res} - V_s^0$, где V_s^{res} – модель среды, подлежащая оценке, можно записать систему линейных уравнений следующего вида:

$$\left(\frac{\partial W}{\partial V_s}\right)_{jxk} (dV_s)_k = (dW)_j$$

где j – количество частот, для которых экспериментально определены амплитуды, а k – количество слоев в слоистой среде; первый член – это матрица размерности jxk; второй член представляет собой вектор неизвестных значений поправок к начальной модели; в правой части – вектор исходных экспериментальных данных. Такая задача может быть решена, например методом наименьших квадратов, при этом могут быть добавлены различные регуляризующие условия, в том числе обеспечивающие гладкость восстанавливаемого разреза среды. Кроме того, с помощью итерационных процедур можно достигнуть смягчения требования малости поправок к исходной модели.

В заключение отметим, что предлагаемый способ обработки данных измерений амплитуды микросейсмического фона обладает гораздо большей точностью, чем применяемые сегодня упрощенные методы, так как основывается на численном моделировании распространения поверхностной волны в слоистой среде и учитывает нелинейную взаимосвязь между глубиной расположения неоднородности и длиной волны. Кроме того, наш подход позволяет восстанавливать абсолютные значения упругих параметров среды и оценивать достоверность и разрешающую получаемых разрезов. Полученные результаты позволяют по-новому подойти к интерпретации уже полученных наблюдений на грязевом вулкане Джау-Тепе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00541.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

- 2. Строение земной коры Горного Крыма вдоль профиля "Севастополь–Керчь" по результатам ГСЗ и локальной сейсмической томографии / Егорова Т.П. [и др.] // Геотектоника. 2018. № 4. С. 77-95.
- 3. Жостков Р. А., Преснов Д. А., Собисевич А. Л. Развитие метода микросейсмического зондирования // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2015. Т. 2. № 26. С. 11-19.
- Королева Т.Ю., Яновская Т.Б., Патрушева С.С. Использование сейсмического шума для определения структуры верхней толщи Земли // Физика Земли. 2009. № 5. С. 3-14.
- 5. Трехмерное строение грязевого вулкана Джау-Тепе по данным микросейсмического зондирования / Преснов Д. А. [и др.] // Тезисы докладов научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. 2016. С. 54-54.
- 6. Яновская Т. Б. К теории метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2017. № 6. С. 18-23.
- 7. Presnov D. A., Sobisevich A. L., Shurup A. S. Model of the geoacoustic tomography based on surface-type waves // Physics of Wave Phenomena. 2015. V. 24. № 3. P. 249-254.
- Shapiro N. M., Campillo M. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise // Geophysical Research Letters. 2004. V. 31. № 7. P. L07614 1-4.

RESEARCH OF THE AMBENT SEISMIC NOISE AMPLITUDE DEPENDENSE TO THE MEDIUM PARAMETERS (ON THE EXAMPLE OF THE MUD VOLCANOAN DJAU-TEPE)

¹Dmitriy A. Presnov, Ruslan A. Zhostkov, Andrey N. Kotov IPE RAS, Moscow ¹presnov@physics.msu.ru

Summary. Seismic noise generated by surface-type waves is being increasingly used to study the structure of the Earth at various scales. In the present work, on the basis of numerical modeling of a vertically layered medium and experimental data, the dependence of the relative amplitude of the detected surface waves on the parameters of the medium at various depths is studied.

Key words: ambient seismic noise, Rayleigh surface wave, layered medium, microseisms, deep structure, mud volcanism.

УДК 550.837.76 ПОИСК И ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Родионов Александр Игоревич ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск fabian4566@gmail.com

Аннотация: Демонстрируется опыт применения метода георадиолокации для выделения сейсмодислокаций в донных осадках малых водоемов Фенноскандинавского щита. Рассматривается радарограмма, на которой

дешифровано нарушение сейсмогенного генезиса. Рассматриваются поисковые критерии и образы, позволяющие идентифицировать подобные объекты в волновом поле георадиолокации.

Ключевые слова: Георадиолокация, Фенноскандинавский щит, малые озера, донные осадки, сейсмодислокации.

Введение.

В ходе Валдайского оледенения территория Фенноскандинавского щита подверглась значительному влиянию водно-ледниковых масс. Этот факт обуславливает распространение гляциальных и флювиогляциальных отложений, представленных различными формами ледникового рельефа, а также озерами ледникового генезиса на данной площади. Изучение ледниковых отложений и водоемов является важной задачей четвертичной геологии и геоморфологии. Анализ строения ледниковых форм рельефа и озер, образовавшихся в межледниковые периоды, может играть важную роль в процессе восстановления палеоклиматических условий формирования среды, а также при выделении возможных катастрофических событий, произошедших в четвертичный период [2].

Изучение ледниковых отложений, как правило, осуществляется методами прямого отбора проб, а именно: в ходе отработки шурфовых канав на суше и бурением скважин в процессе исследования водоемов. Однако стоит отметить, что в качестве дополнения к применяемым методикам все чаще используются методы малоглубинной геофизики, в частности, георадиолокация [12].

Интерес к использованию новых методов для выделения сейсмодислокаций и других следов катастрофических явлений в донных осадках озер обусловлен необходимостью обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования на территории Фенноскандинавского щита – региона с широко развитым горнопромышленным кластером. В то же время локализация и возрастные привязки сейсмодислокаций являются благоприятными объектами для оценки геодинамического режима территорий, а также индикаторами для выявления зон активных разломов.

Методы и подходы.

Традиционным геофизическим методом изучения водоемов является сейсмоакустическое профилирование, хорошо зарекомендовавшее себя при исследовании донных отложений [6]. При изысканиях на малых водоемах использование сейсмоакустики является нецелесообразным. Альтернативой сейсмоакустическому профилированию может служить метод георадиолокации, обладающий меньшей глубиной проникновения зондирующего сигнала, но характеризующийся большей разрешающей способностью, что является плюсом при изучении маломощных донных осадков [4].

Перспективным направлением для использования георадиолокации является поиск различных нарушений и деформаций (в том числе и сейсмодислокаций), так как зачастую локализовать такие объекты при помощи геологических наблюдений крайне трудоемко. Георадиолокация обеспечивает непрерывное сканирование изучаемой толщи, что позволяет не только определить местоположение нарушения, но и изучить его параметры [5, 7, 9]. В мировой практике этот геофизический метод стал фактически стандартным при проведении различных видов геологических исследований, в том числе и при изучении стратиграфии рыхлых осадочных отложений [12, 13, 15]. Применяется он и для решения задач палеосейсмологии [8, 10]. Следует отметить, что использование георадара в палеосейсмологии является все еще новым и не до конца проработанным способом повышения эффективности работ. Однако в комплексе с другими геолого-геоморфологическими методами и подходами, георадиолокация значительно повышает общую информативность и расширяет возможности исследований

[3, 11, 14].

Результаты работ.

В данной работе представлены материалы георадиолокационных изысканий на озере Анашкино, расположенном на территории Республики Карелия, в 50 км от города Петрозаводска. Изученный водоем находится в зоне влияния тектонического разлома северо-восточного простирания. Котловина претерпевает процесс заболачивания береговых линий – происходит постепенное зарастание озерной котловины, что типично для озер, расположенных в регионе [1].

Съемка выполнялась георадаром серии ОКО-2, антенным блоком с центральной частотой 150 МГц. Разрешающая способность такой антенны составляет ±30 см, а предельная глубина проникновения сигнала зависит от электрофизических свойств изучаемой среды и в среднем составляет 10 м. Кроме того, с помощью кондуктометра СОМ 100 были получены данные о проводимости и минерализации озерной воды. Обработка георадиолокационных данных проведена в ПО GeoScan32. Полевые исследования производились в зимний период со льда озера. Дополнительно была выполнена привязка слоев и горизонтов путем комплексирования георадиолокационных данных с данными бурения.

На рисунке 1 приведен фрагмент радарограммы, полученной при изучении озера Анашкино. Радарограмма демонстрируется во временной разверстке. Волновая картина отличается малым количеством шумов, что связано с низкими значениями проводимости (36 мкСм/см) и минерализации (24 ppm). Помехи, локализованные в верхней части временного разреза (0-20 нс) соотносятся с влиянием льда и обусловлены его внутренними неоднородностями. Стоит отметить, что при работах в зимний период такие помехи встречаются повсеместно. На радарограмме отчетливо выделяются границы слоев: толща органогенных осадков, сложенная сапропелем, минерагенная толща, сложенная моренными песками. Кровля минерагенной толщи ровная, без видимых нарушений, кроме участка на интервале пикетов 40-80, на котором зафиксирована сейсмодислокация. Сейсмодислокация выделяется по резкому изменению морфологии залегания кровли минерагенных осадков, на временах со 140 нс до 370 нс, с формированием ступенеобразного уступа. Кроме того, зафиксированы срывы осей синфазности, локализованных в районе уступа, в кровле минерагенной толщи.



Рис. 1. Сейсмодислокационное нарушение в озере Анашкино

Выводы.

Георадиолокационные изыскания, проводимые на акваториях малых водоемов Фенноскандинавского щита, позволяют получать весьма информативные данные. Малая проводимость и минерализация в озерах региона способствуют получению радарограмм, отличающихся малым количеством помех и шумов. В ходе выполненных исследований было доказано, что помимо литологического расчленения разреза, применение метода георадиолокации позволяет обнаруживать и сейсмодислокации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Коломыцев В. А. Географические особенности структуры и динамики заболоченности Восточной Фенноскандии. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2001. 184 с.
- 2. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) / Николаева С.Б. [и др.] // Известия Русского Географического Общества, 2016. №4. С. 38-52.
- 3. Родионов А. И., Николаева С. Б., Рязанцев П. А. Оценка возможностей георадиолокации при изучении сейсмогенных нарушений и деформаций в донных осадках (на примере озера Уполокшское, северо-восток Фенноскандинавского щита) // Geodynamics & Tectonophysics. 2018. №4. С. 1189-1203.
- 4. Возможности георадиолокации при изучении четвертичных отложений / Старовойтов А.В. [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН, 2016. № 5. С. 62–75.
- 5. Тарабанько А. В. Применение георадиолокации при изучении разрывных нарушений, связанных с коровыми землетрясениями в районе реки Поперечная (Южная Камчатка) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле, 2007. № 9. С. 154-158.
- 6. Шалаева Н. В., Старовойтов А. В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. Учебное пособие. М. : Издательство МГУ, 2010. 256 с.
- 7. Dentith M., O'Neill A., Clark D. Ground penetrating radar as a means of studying palaeofault scarps in a deeply weathered terrain, southwestern Western Australia // Journal of Applied Geophysics. 2010. V. 72 (2). P. 92-101.
- 8. Lunina O. V., Andreev A. V., Gladkov A. S. The 1950 Mw = 6.9 Mondy earthquake in southern East Siberia and associated deformations: facts and uncertainties // Journal of Seismology. 2015. Vol. 19 (1). P. 171-189.
- 9. Srednekedrovaya paleoseismodislocation in the Baikal ridge: its structure and throws estimated from ground-penetrating radar data / Lunina O. V. [et al] // Geodynamics & Tectonophysics, 2018. Vol. 9 (2). P. 531-555.
- 10. McCalpin J.P. Paleoseismology, 2nd edition. Academic Press, 2009. 629 p.
- Evidence for eight great earthquake-subsidence events detected with ground-penetrating radar, Willapa barrier, Washington / Meyers R. A. [et al] // Geology, 1996. Vol. 24 (2). P. 99-102.
- 12. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress // Earth-Science Reviews, 2004. Vol. 66 (3-4). P. 261-330.
- Reicherter K. R., Reiss S. The Carboneras Fault Zone (southeastern Spain) revisited with Ground Penetrating Radar – Quaternary structural styles from high-resolution images Netherlands Journal of Geosciences // Geologie en Mijnbouw. 2001. Vol. 80 (3-4). P. 129-138.
- 14. Sambuelli L., Bava S. Case study: A GPR survey on a morainic lake in northern Italy for bathymetry, water volume and sediment characterization // Journal of Applied Geophysics. 2012. Vol. 81. P. 48-56.
- 15. Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan / Tamura T [et al] // Marine Geology. 2008. Vol. 248 (1-2). P. 11-27.

SEARCH AND LOCALIZATION OF SEISMODISLOCATIONS IN BOTTOM SEDIMENTS OF SHALLOW LAKES BY GPR

Alexander I. Rodionov IG KarRC RAS, Petrozavodsk fabian4566@gmail.com

Summary. In this paper we demonstrate the experience of GPR application for the allocation of seismic dislocations in the bottom sediments of shallow lakes of the Fennoscandian shield. Provides a radarogram, where the decrypted violation of seismogenic origin. Also considered search criteria and images which allow to identify similar objects in the wave field of GPR.

Key worlds. GPR, Fennoscandian shield, small lakes, bottom sediments, seismodislocations.

УДК: 550.837

ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Рязанцев Павел Александрович ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск chthonian@yandex.ru

Аннотация: Показан опыт использования электротомографии на постоянном токе для изучения высокоуглеродистых горных пород – шунгитов на примере месторождения «Максовское». Установлено, что геоэлектрические модели отражают неоднородности массива шунгитовых пород, несмотря на крайне низкие значения удельного электрического сопротивления. На моделях определено наличие аномальной области, приуроченной к зоне развития метасоматитов в виде купольной структуры, которые отличаются пониженным содержанием углерода в сравнении с вмещающими породами. Сопоставление с результатами бурения подтвердило достоверность полученных выводов.

Ключевые слова: Электротомография, шунгитовые породы, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрическая модель, метасоматиты.

В настоящее время в Республике Карелия разведаны и разрабатываются несколько месторождений высокоуглеродистых шунгитовых пород (ШП), которые расположены в пределах Онежской палеопротерозойской структуры. Наиболее крупным из них является «Максовское», расположенное в 3 км к югу от пос. Толвуя (Медвежьегорский район, Республика Карелия). Это месторождение разрабатывается открытым способом с 2001 г.; на начало разработки суммарные запасы высокоуглеродистых ШП составляли 33.4 млн т [5].

В разрезе месторождение имеет пластово-куполообразную форму с максимальной мощностью в центре 120 м, в горизонтальном сечении его форма эллипсоидальная, размером 700×500 м, а кровля в значительной степени эродирована. Вмещающими породами для основной залежи являются алевролиты, доломиты, карбонатные и альбиткремнистые туфы, а также малоуглеродистые шунгитовые породы [4]. Геологическое строение месторождения осложнено выходом в центральной и западной части нескольких долеритовых силлов, а в северной приосевой части развиты метасоматиты, образующие купол диаметром 160 м и высотой 80 м [5].

Существует ряд классификаций ШП, основными критериями в которых являются содержание углерода, кремнезема и алюмосиликатов, но в целом, вопрос общей классификации и терминологии ШП, равно как и вопрос их генезиса, до сих пор окончательно не решен. Одна из наиболее простых классификаций ШП основана на выделении трех природных типов по содержанию углерода: высокоуглеродистые (>25 %), среднеуглеродистые (5–25 %) и малоуглеродистые (<5 %) [3].

Проблематика изучения месторождений ШП обусловлена сложностью геологического строения, невыдержанностью по составу, а также мощными отложениями рыхлых пород. Методы геофизики используются при разведке подобных месторождений давно, с первых этапов освоения, главным образом для оконтуривания полезной толщи. Особенно эффективны для решения подобных задач методы электроразведки, что обусловлено очень высокой проводимостью ШП в сравнении с вмещающими породами [7]. Установлена и внутренняя дифференциация ШП по проводимости исходя из содержания в них углерода [2]. В данной работе рассматривается опыт использования электротомографии на месторождении «Максовское» с целью изучения строения и выявления неоднородностей ШП.

Электротомография является модификацией метода сопротивлений на постоянном токе и использует принципы геометрических зондирований, однако имеет особую систему сбора и обработки данных [1]. За счет многоэлектродных кос, коммутирующих устройств и использования фиксированных позиций электродов в качестве питающих и приемных, электротомография обеспечивает сбор массива кажущихся удельных электрических сопротивлений (ρ_k) с высокой плотностью. Обработка измеренных значений выполняется в специализированном ПО (*Res2dinv, ZondRes2d*), которое позволяет получить методом подбора геоэлектрическую модель, отражающую изменение электрических свойств исследуемого геологического объекта. Ранее выполненные исследования показали эффективность электротомографии при определении мощности перекрывающих рыхлых пород [6].

В рамках выполненных исследований проведена съемка на площади месторождения «Максовское» с использованием аппаратуры: генератор SGD-EGC200 «SKAT II», измеритель SGD-EEM «MEDUSA» и коммутирующий модуль CommDD2 с двумя косами размером 160 м каждая. Сбор данных осуществлялся симметричной электроразведочной установкой A-M-N-B с равномерным изменением разносов шагом (AM=MN=NB) и с шагом электродов 5 м по профилю. Расположение приемных и питающих электродов обеспечило глубину исследований до 40 м. Расположение профилей привязывалось к ранее пробуренным скважинам. По итогу работ был получен набор геоэлектрических моделей, отражающих геологическое строение ШП.

Рассмотрим полученные результаты на примере профиля №1, выполненного в северной части месторождения (рис. 1). На первом этапе можно с уверенностью проследить следующие структурные элементы:

- мощность рыхлых отложений, с $\rho_k = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и более;
- основную (высокоуглеродистую) залежь ШП, которая характеризуются значениями ρ_k = 0.1-5 Ом·м;
- восточную часть месторождения (ПК 500–600), в которой происходит выклинивание основной залежи, и присутствуют прослои карбонатных пород и туфов, с *p_k* = 10-40 Ом·м.



1 - шунгитовые породы, 2 - метасоматиты, 3 - малоуглеродистые шунгитовые породы, 4 - карбонатный туф, 5 - метадиабаз, 6 - доломиты, 7 - туфы алевритовые, 8 - морена. Рис. 1 Геоэлектрический разрез вдоль северной части месторождения шунгитовых пород «Максовское»

Сопоставление полученной геоэлектрической модели с колонками буровых скважин показало достаточно высокую точность определения верхней кромки залегания ШП. Особый интерес вызывает наличие аномалии на ПК 100–250, которая обладает $\rho_k = 15{-}20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и соотносится с куполовидным телом метасоматитов. Подобные тела обнаружены и на других месторождениях ШП, однако вопрос их генезиса остается дискуссионным. Можно отметить, что локальные слои метасоматитов и диабазов, обнаруженные в скважинах, на геоэлектрической модели не выделяются, что обусловлено их низким контрастом.

Проведенные исследования показали, что электротомография достаточно эффективна при изучении ШП и может дать информацию о внутреннем строении залежи, несмотря на очень низкие значения и относительно малый контраст (не более одного порядка) кажущегося удельного сопротивления. Это позволяет сделать вывод о перспективности ее использования при поисках и разведке месторождений ШП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бобачев А. А., Яковлев А. Г., Яковлев Д. В. Электротомография высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // Инженерная геология. 2007. №3. С. 31-35.
- 2. Зайцев Г. Н. Влияние морфологии шунгитовых пород на их электропроводящие свойства // V Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник материалов. Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2004. С. 40-43.
- 3. Калинин Ю. К., Калинин А. И., Скоробогатов Г. А. Шунгиты Карелии для новых стройматериалов, в химическом синтезе, газоочистке, водоподготовке и медицине. СПб. : УНЦХ СПбГУ, 2008. 219 с.
- Купряков С. В. Геология и генезис шунгитовых пород Зажогинского месторождения // Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения) / Под ред. М.М. Филиппова и др. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 1994. С. 93-98.
- 5. Михайлов В. П., Леонтьев А. Г. Шунгитовые породы // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга 2: Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск : Карелия, 2006. С. 113-123.

- 6. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Геолого-геофизические признаки купольных шунгитовых структур, перекрытых коренными породами // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2005. Вып. 8. С. 111-120.
- Филиппов М. М., Клабуков Б. Н. Геофизические признаки шунгитоносных купольных структур // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2000. Вып. 2. С. 80-88.

CASE STUDY OF HIGH CARBON ROCKS BY MEANS OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

Pavel A. Ryazantsev IG KarRS RAS, Petrozavodsk chthonian@yandex.ru

Summary: The example of use electrical resistivity tomography for the study of high-carbon rocks – shungites on the example of the «Maksovskoe» deposit is shown. It is found that the geoelectrical models show heterogeneity of the structure of shungite rocks, despite the extremely low values of electrical resistivity. On the models the presence of an anomalous area related to the zone of metasomatites in the form of a dome structure, which are distinguished by lower carbon content in comparison with host rocks is determined. Comparison with the results of drilling confirmed the reliability of the findings.

Key words: Electrical resistivity tomography, shungite rocks, electrical resistivity, geoelectrical model, metasomatites.

УДК 550.3:551.24.02

ОЦЕНКА ЦУНАМИГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА СИЛЬНЕЙШИХ СУБДУКЦИОННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

¹Сдельникова Ирина Александровна, ^{1,2}Стеблов Григорий Михайлович ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, ²ИФЗ РАН, г. Москва sdelnikova@gsras.ru, steblov@ifz.ru

Аннотация. Для своевременного оповещения о приближающемся цунами и оценки его опасности необходимо оперативное определение смещения морского (океанского) дна в эпицентре зарегистрированного подводного землетрясения. В настоящее время существенный вклад в решение этой задачи вносят спутниковые геодезические наблюдения. В данной работе показана возможность как априорной, так и оперативной оценки цунамигенного потенциала сильнейших субдукционных землетрясений по данным спутниковой геодезии на примере Симуширских событий 2006-2007 гг. и Тохоку 2011 года.

Ключевые слова: цунами, подводное землетрясение, очаг землетрясения, спутниковая геодезия, ГНСС.

Введение.

Тектонические деформации в зонах субдукции связаны с наиболее активными геодинамическими процессами на Земле. В этих местах скорость конвергенции литосферных плит может достигать 10 см/год. Накопленные за сотни лет межплитовые деформации приводят к сильнейшим землетрясениям. А если возникшее землетрясение мелкофокусное и подводное, то деформации морского дна в эпицентре события приводят к возникновению цунами. Ущерб от цунами иногда значительно превосходит последствия самого цунамигенного землетрясения. Практические меры по смягчению последствий цунами, наряду с априорными исследованиями, включают также и оперативное оповещение о приближении волны после того, как зафиксировано сейсмическое событие. Существенный вклад в решение этих вопросов в настоящее время вносят методы космической геодезии, основанные на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС).

Японская и Курило-Камчатская зоны субдукции относятся к числу наиболее сейсмически активных регионов Земного шара. К сильнейшим землетрясениям в этих регионах относятся парные Симуширские землетрясения 15.11.2006 г. Мw=8.3 и 13.01.2007 г. Мw=8.1, произошедшие в центральной части Курильской дуги, и землетрясение Тохоку 11.03.2011 г. Мw=9.1 (рис. 1а).



Рис. 1. а) схема расположения станций ГНСС в районе Японо-Курило-Камчатской островной дуги, аббревиатуры – названия станций, сплошная линия – границы плит, фокальные механизмы – очаги двух Симуширских землетрясений и землетрясения Тохоку; б) глубинное строение Японо-Курило-Камчатской сейсмогенной зоны

Спутниковые геодезические измерения.

Значительный прогресс в исследовании деформационных процессов в сейсмически активных регионах и, в частности, в зонах субдукции стал возможен благодаря развитию спутниковых геодезических измерений и распространению сетей станций ГНСС по всему миру.

В Японо-Курило-Камчатском регионе развернуты три региональные сети станций ГНСС (рис. 1а), обеспечивающие непрерывный мониторинг смещений земной поверхности: Камчатская региональная сеть Единой геофизической службы РАН, Курильская сеть Института морской геологии и геофизики ДВО РАН и наиболее плотная, насчитывающая более 1300 работающих в режиме реального времени станций, сеть Японии. Ежесуточные оценки положения станций ГНСС собираются в продолжительные временные ряды, анализ которых составляет основу для изучения деформаций земной поверхности. Анализ временных рядов положений станций ГНСС позволяет выявлять как медленные, так и быстрые деформационные процессы, происходящие на разных стадиях сейсмического цикла [4]. Изучение деформаций земной поверхности позволяет, в свою очередь, исследовать глубинные процессы деформирования, приводящие к возникновению сильнейших межплитовых землетрясений, в рамках моделей глубинного строения межплитовых границ.

Обратная задача моделирования межплитовых деформаций.

Моделирование распределения глубинных (межплитовых) деформаций по конечному набору поверхностных измерений сводится к решению обратной задачи. В условиях ограниченного набора данных такая задача является неустойчивой и необходимо исследовать возможность ее регуляризации. Одним из подходов, дающих возможность привести такую задачу к конечной системе уравнений и регуляризировать ее, является дискретизация области определения искомого параметра, адекватная детальности покрытия наблюдательными пунктами. Возникающая при этом система уравнений решается путем минимизации невязки модельных и наблюдаемых поверхностных смещений станций ГНСС со сглаживанием (с применением статистического критерия согласованности невязки с погрешностью измерений) [3].

Данный подход позволяет моделировать как быстрые смещения, произошедшие в ходе землетрясения, так и медленные межплитовые деформации, отражающие процесс накопления упругих напряжений. При оценке межплитовых деформаций область моделирования соответствует всей сейсмофокальной области рассматриваемого региона. Для большей части зон субдукции геометрия сейсмофокальной области определена достаточно детально. Профиль Японо-Курило-Камчатской сейсмогенной зоны по данным [5] показан на рис. 16.

Область моделирования очага землетрясения может быть очерчена облаком афтершоков или оценена по эмпирическим формулам связи магнитуды и линейных размеров очага землетрясения [2]. При необходимости произвести оценку распределения подвижек в очаге землетрясения в режиме реального времени, для сильнейших субдукционных землетрясений область моделирования соответствует всей сейсмофокальной области данного региона.

Медленные межплитовые деформации Японской зоны субдукции.

Накопленные многолетние данные ГНСС для Японского региона позволили выявить особенности межплитовых деформаций на разных стадиях сейсмического цикла и рассмотреть взаимосвязь косейсмических и предсейсмических деформаций. В исследуемом регионе выявлены вариации межплитового сцепления, которые могут служить индикатором подготовки сильнейшего субдукционного землетрясения Тохоку 2011 г. [3]. Землетрясение Тохоку произошло в зоне максимального градиента межплитового сцепления по простиранию контактной зоны, перед землетрясением Тохоку зафиксированы локальные временные вариации межплитового сцепления, сформировавшие его резкий латеральный градиент, а также вариации, охватывающие всю сейсмофокальную зону (рис. 2.).

Как видно из рис. 2, очаг готовящегося землетрясения располагается в Тихом океане вблизи восточного побережья острова Хонсю. Кроме того, если соотнести расположение очага с глубинным строением сейсмогенной зоны (рис. 1б), видно, что происходит подготовка подводного землетрясения в мелкофокусной части сейсмогенной зоны, и, как следствие, цунамигенного. Произошедшее землетрясение 2011 г. и последовавшее за ним катастрофическое цунами подтверждают сделанные предположения о цунамигенном характере ожидаемого события.



Изолинии смещений в очаге землетрясения Тохоку 11.03.2011. Механизмы очага землетрясения Тохоку. ЕUA – Евразийская литосферная плита, PAC – Тихоокеанская литосферная плита

Рис. 2. Пространственно-временные вариации межплитового сцепления для Японской зоны субдукции.

Косейсмические деформации.

Для своевременного оповещения о приближающемся цунами и степени его опасности необходимо оперативное определение смещения морского дна в эпицентре зарегистрированного подводного землетрясения. В настоящее время для решения этой задачи могут использоваться данные ГНСС о косейсмических смещениях земной поверхности, получаемые в режиме реального времени.

Оценка косейсмических смещений станций ГНСС основывается на анализе временных рядов их положений. Построение временного ряда положений станции ГНСС может быть выполнено в двух режимах: в более точном статическом режиме и в более быстром кинематическом режиме, позволяющем получать оценки положения станций в режиме реального времени.

Наблюдаемые сейсмические смещения на станциях ГНСС в пределах нескольких сотен километров от очагов сильных землетрясений могут достигать нескольких сантиметров, а вблизи очагов – нескольких метров. Так, например, землетрясение Тохоку отразилось во временных рядах станций ГНСС одномоментными смещениями до 5 м на станциях, расположенных вблизи эпицентра. В данной работе проанализированы косейсмические смещения от Симуширских землетрясений 2006 и 2007 гг. из [9] и от землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. Мw=9.1 с использованием данных из [7]. Данные оценки получены в более точном, статическом режиме обработки.

Оценка косейсмических деформаций по данным ГНСС.

Косейсмические смещения земной поверхности, вычисляемые по данным ГНСС, могут использоваться для оценки распределения смещений в очагах сильнейших землетрясений [1, 8] и, как следствие, для оценки поля смещений морского дна в эпицентре события. Такое построение было выполнено для двух Симуширских землетрясений 15.11.2006 г. Мw=8.3 и 13.01.2007 г. Мw=8.1 (рис.3) и землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. Мw=9.1 (рис.4).



Рис. 3. Распределение подвижки в очагах землетрясений: а) 15.11.2006 г. Мw=8.3, б) 13.01.2007 г. Мw=8.1. Поле вертикальных поднятий дна океана в эпицентрах землетрясений: в) 15.11.2006 г. Мw=8.3, г) 13.01.2007 г. Мw=8.1



Рис. 4. а) распределение подвижки в очаге землетрясения Тохоку; б) поле вертикальных поднятий дна океана в эпицентре очага землетрясения Тохоку

Для землетрясения 15.11.2006 г. Мw=8.3 максимальное поднятие составило около 3 м, а опускание около 1 м (рис. 3в). При землетрясении 13.01.2007 г. Мw=8.1 поднятие дна было незначительное и составило 0.4 м, а опускание составило более 2 м, что объясняется сбросовым типом данного землетрясения (рис. 3г). Вертикальное поднятие дна океана во время землетрясения Тохоку в пике превышало 5 м, значительная по площади часть поверхность дна в эпицентральной области поднялась выше 2 м (рис. 46). Каждое из указанных событий породило трансокеанское цунами.

Сравнивая анализируемые сейсмические события, надо отметить, что в среднем поднятие дна для первого Симуширского землетрясения и землетрясения Тохоку сопоставимо по величине. В то же время площадь, охваченная поднятием при землетрясении Тохоку, оказалась гораздо больше, что и отразилось в масштабах его последствий. Во многих пунктах побережья о. Хонсю высота цунами превышала 20 м при максимальном значении 40 м [6].

Построенные распределения вертикальных смещений в эпицентрах землетрясений являются начальными условиями при моделировании распространения цунами, а благодаря современным каналам связи и вычислительной технике могут быть получены практически в режиме реального времени, сразу по мере прихода волны сейсмических смещений на станции ГНСС. Хорошо заметный сигнал приходит со скоростью поверхностных волн, которая на порядок выше скорости волны цунами. Это обуславливает возможность практического применения технологии ГНСС для раннего оповещения о цунами.

Обсуждение.

Существующая в настоящее время система оповещения о цунами базируется на сейсмических данных. Однако зачастую сейсмические методы не дают достаточной точности в ограниченных временных рамках при оценке параметров очага в реальном масштабе времени, что необходимо для своевременного предупреждения об опасности цунами. Особенно это характерно для сильнейших землетрясений (таких как Тохоку). В частности, классические сейсмические методы требуют достаточно много времени, чтобы оценить полную магнитуду землетрясения, а также размер и положение области разрыва. Например, Японское Метеорологическое Агенство опубликовало первые данные о магнитуде землетрясения Тохоку уже через три минуты после события. Однако, согласно этому первому сообщению, магнитуда составила всего лишь 7.9 баллов, через 1 час и 20 минут оценка магнитуды была увеличена до 8.4, через 3 часа – до 8.8. В то же время наиболее ранние зафиксированные максимальные удары цунами произошли через 26–35 мин после землетрясения.

Использование получаемых методами спутниковой геодезии данных о смещениях земной поверхности в момент землетрясения позволяет практически в режиме реального времени решать обратную задачу отыскания распределения сейсмической подвижки в очаге. Это, в свою очередь, делает возможным моделирование распределения вертикальных смещений морского дна в очаговой зоне путем решения прямой задачи моделирования косейсмических смещений.

Совместное использование сейсмических и спутниковых геодезических данных позволило бы значительно усовершенствовать существующую систему оповещения о цунами.

Возможность получения спутниковых геодезических данных в режиме, близком к реальному времени, позволяет применять их для оперативного геодинамического мониторинга подготовки и реализации сильнейших субдукционных сейсмических событий, а также выявлять их цунамигенный потенциал на стадии подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Владимирова И. С. Очаговые зоны Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. (I) с Мw=8.3 и 13 января 2007 г. (II) с Мw=8.1 по данным космической геодезии // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. Обнинск: ГС РАН, 2013. С.339-350.
- 2. Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М. : Наука, 1985. 408 с.
- Сдельникова И. А., Стеблов Г. М. Мониторинг цунамигенных землетрясений методами спутниковой геодезии // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. №1. С. 46-55.
- Сдельникова И. А., Стеблов Г. М. Напряженно-деформированное состояние Японской зоны субдукции по данным спутниковой геодезии // Материалы XII Международной сейсмологической школы. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 315-319.
- 5. Hayes G. P., Wald D. J., Johnson R. L. Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. N. B01302. P.1-15.
- 6. Mori N., Takahashi T., Yasuda T., Yanagisawa H. Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and run-up // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. N. L00G14. P. 1-6.
- 7. Pollitz F.F., Bürgmann R., Banerjee P. Geodetic slip model of the 2011 M9.0 Tohoku earthquake // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. N. L00G08.
- First geodetic observations of a deep earthquake: The 2013 Sea of Okhotsk Mw 8.3, 611 km-deep, event / Steblov G. M. [et al] // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. N. 11. P. 3826-3832.
- 9. Spatially linked asperities of the 2006–2007 great Kuril earthquakes revealed by GPS / Steblov G. M. [et al] // Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. N. L22306. P. 1-5.

ASSESMENT OF THE TSUNAMIGENIC POTENTIAL FOR THE STRONGEST SEISMIC EVENTS BASED ON THE SATELLITE GEODETIC DATA

¹Irina A. Sdelnikova, ^{1,2}Grigory M. Steblov ¹GS RAS, Obninsk, ²IPE RAS, Moscow sdelnikova@gsras.ru, steblov@ifz.ru

Summary. Tsunami early warning and its threat assessment requires efficient estimate of the sea (ocean) floor displacement in the epicenter of the captured undersea earthquake. Currently, significant contribution to this subject is made by the satellite geodetic observations. The paper shows the possibility of both a priori and operational assessment of the tsunamigenic potential of the strongest subduction earthquakes based on satellite geodetic data by examples of Simushir 2006-2007 and Tohoku 2011 events.

Key words: tsunami, undersea earthquake, earthquake source, satellite geodesy, GNSS.

УДК 550.834 СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

¹Николай Александрович Серёжников, ¹Александр Федорович Еманов, ^{1,2}Алексей Александрович Еманов, ^{1,2}Александр Владимирович Фатеев, ¹Елена Викторовна Шевкунова, ¹Ульяна Юрьевна Ворона ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН г. Новосибирск ² ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск serezhnikov@gs.sbras.ru, emanov@gs.nsc.ru, alex@gs.nsc.ru, fateev@gs.sbras.ru, elenash@gs.sbras.ru, ulyana@gs.sbras.ru

Аннотация. По данным сети сейсмологических станций изучен сейсмический эффект короткозамедленных взрывов на угольных разрезах Кузбасса и наведенная сейсмичность в этом же районе. Разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведенной сейсмичностью. Природа возникновения наведенной сейсмичности может быть связана с техногенным изменением рельефа местности. Установлено, что по соотношениям магнитуды и параметров короткозамедленного взрыва имеется возможность контролировать правильность технологии взрывания. Сравнение с регистрируемой наведенной сейсмичностью показало, что разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведенной сейсмичностью.

Ключевые слова: Западная Сибирь, короткозамедленные взрывы, сейсмический эффект, наведенная сейсмичность.

Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса [12] входит в общую сеть региональных станций и повышает возможности мониторинга не только Кузбасса, но и соседних регионов.

В работе [2] приведена информация, указывающая на существенное увеличение потребления взрывчатых веществ в горнодобывающих предприятиях Кузбасса. Следует отметить, что в Кузбассе добыча угля ведется как открытым, так и подземным способом. Добыча угля шахтами это механическое разрушение угольных пластов комбайнами без взрывных работ. В угольных разрезах добыча основана на использовании массовых промышленных взрывов, регистрируемых сетью станций и оказывающих воздействие как на недра около разрезов, так и на подземные выработки, находящиеся в стороне, и на поселки и города Кемеровской области. Наведенная сейсмичность фиксируется как около угольных разрезов [13, 14], так и в районах подземных выработок [8, 9, 10, 19]. Сейсмическое действие промышленного взрыва в существенной степени зависит от применения короткозамедленного взрывания в разрезах [3, 20]. Согласно имеющимся представлениям о короткозамедленном взрывании, идеализированную модель излучаемого сейсмического импульса можно представить в виде [4]:

$$f_{3}(t) = f_{0}(t) * \sum_{k=1}^{n-1} \delta(t - kT), \qquad (1)$$

где $f_0(t)$ – форма сигнала, излучаемого мгновенным взрывом. $f_3(t)$ – форма сигнала, излучаемая короткозамедленным взрывом. Операция свертки обозначена звездочкой, Т – интервал замедления.

Так как при короткозамедленном взрывании применяют схемы инициирования не только с равными по величине зарядами, но и с различными, реальный импульс будет отличаться от имеющейся модели.

Дополним уже сделанное предположение двумя другими: считаем источник точечным; полагаем, что каждый взрыв ступени возбуждает сигнал одинаковой формы. Принятые допущения позволяют построить модель импульса, излучаемого короткозамедленным взрывом:

$$f_{3}(t) = \sum_{k=0}^{n-1} a_{k} f_{0}(t-t_{k}) = f_{0}(t) * \sum_{k=1}^{n-1} a_{k} \delta(t-t_{k}), \qquad (2)$$

где a_k – коэффициенты, характеризующие интенсивность взрывов ступеней, а t_k – времена инициирования ступеней. Если принять, что взрывы ступеней выполняются через равные интервалы с некоторой ошибкой, то:

$$f_{3}(t) = f_{0}(t) * \sum_{k=1}^{n-1} a_{k} \delta(t - kT - \tau_{k}).$$
(3)

Приняв, что все $a_k = 1$, оценим, какое влияние на интересующий нас импульс оказывают неточности срабатывания замедляющих устройств. Для этого сравним спектральные характеристики короткозамедленного взрывания при учете неточностей срабатывания замедлителей и без учета:

$$B_{\tau}(\omega) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} \cdot e^{-j\omega \tau_k} , \ B(\omega) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} .$$

$$\tag{4}$$

Так как $B_{\tau}(\omega)$ является случайной функцией, осуществим осреднение по множеству реализаций. Математическое ожидание спектральной характеристики короткозамедленного взрывания равно [4]:

$$\mathbf{M}[B_{\tau}(\omega)] = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} \mathbf{M}\left(e^{-j\omega\tau_{k}}\right) = \chi(\omega) \cdot \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} = \chi(\omega)B(\omega), \qquad (5)$$

где $\chi(\omega) = M(e^{-j\omega\tau_k})$ – характеристическая функция распределения случайной величины τ_k . Действие ошибок в срабатывании замедлителей на спектральную характеристику короткозамедленного взрывания в среднем подобно действию линейного фильтра, частотной характеристикой которого является характеристическая функция распределения ошибки срабатывания замедляющего устройства. Если принять, что слу- $\sigma_r^2 \omega^2$

чайная величина τ_k распределена нормально с дисперсией σ_{τ}^2 , то $\chi(\omega) = e^{-\frac{1}{2}}$. Неточность срабатывания большинства промышленных замедлителей составляет ±7 мс. При такой неточности $\chi(\omega)$ в диапазоне частот 1-15 Гц близка к единице.

Отклонения спектральной характеристики от среднего при каждом конкретном эксперименте характеризуются дисперсией $DB_{\tau}(\omega) = n(1 - |\chi(\omega)|^2)$ [4]. Значения спектральной характеристики КЗВ определяются выражением $\tilde{B}(\omega) = \chi(\omega)B(\omega) \pm 3\sqrt{n(1 - |\chi(\omega)|^2)}$. Дисперсия характеристики растет с частотой. Фактически короткозамедленное взрывание рассчитывается так, чтобы спектр возбуждаемых колебаний оказывался в полосе гашения, а ошибки в замедлении сказываются только на высокочастотных составляющих возбуждаемых взрывом колебаний.

В работе [4] показано, что осредненная по множеству реализаций спектральная характеристика КЗВ равна $MB_a(\omega) = \overline{a}B(\omega)$, где a – средняя амплитуда возбуждаемых

сигналов, а дисперсия $DB_a(\omega) = n\sigma_a^2$. Пределы изменения значений спектральной характеристики за счет разброса амплитуд даются выражением: $\tilde{B}_a(\omega) = B(\omega) \pm 3(\sigma_a/\bar{a})\sqrt{n}$.

Полученные формулы проверялись экспериментальными работами [5], где было установлено, что расчетом на основе упрощенных представлений о короткозамедленном взрывании, можно описать только частично изменение возбуждаемых в среде колебаний. Была выявлена важная роль в изменении направленности взрыва. Последовательность ступеней вызывает воздействие в виде наклонной силы с направленным действием, в отличие от вертикальной силы при одиночном взрыве. При короткозамедленном взрывании в значительной степени усиливается возбуждение поперечных волн, что меняет динамику записи в целом [5, 15]. Расчеты и эксперимент подтверждают, что сейсмический эффект серии взрывов при короткозамедленном взрывании равен сейсмическому эффекту одного взрыва в серии и отличается длительностью воздействия.

Теоретически при неизменном весе заряда ступени мы должны наблюдать одну и ту же магнитуду, не зависимо от общего заряда взрыва. На рис. 1 представлены зависимости магнитуды от величины общего заряда для взрывов на разрезе «Краснобродский».



Рис.1. Зависимость локальной магнитуды промышленного взрыва от общего заряда. Разрез Краснобродский, 3-й участок. 1-3 квартал 2018 года

Осредненные зависимости (пунктир) говорят о росте магнитуды с увеличением величины общего заряда взрыва. В расчете на сто тонн увеличения заряда мы имеем примерно увеличение магнитуды чуть более трех десятых. Совершенно ясно, что резервы по снижению сейсмического эффекта за счет короткозамедленного взрывания еще имеются.

Другой особенностью полученной зависимости является существование разброса точек от осредняющей прямой. Во-первых, это означает, что на одном и том же разрезе взрывы с одной и той же массой заряда и равными зарядами в серии могут обладать существенно различным сейсмическим эффектом, во-вторых, мы видим, что взрыв с массой заряда 99 т имеет магнитуду на 0.4 единицы больше, чем взрыв с зарядом 122 т.

На рис. 2 представлены данные зависимости магнитуды от величины заряда ступени с третьего участка Краснобродского разреза. Пределы изменения единичного заряда в 10 раз, а изменения магнитуд при этом по осредняющей прямой (пунктир) со-

ставляют 0.4. Обращает на себя внимание существенный разброс точек от прямой осреднения. Наибольшим сейсмическим эффектом обладал взрыв с зарядом ступени менее полутора тонн и общим зарядом около 100 тонн. В то же время большое количество взрывов большим зарядом ступени и большими общими зарядами имели меньшую магнитуду. Если, не учитывая данный аномальный по сейсмическому эффекту взрыв, мысленно провести прямую по магнитуде 2.5, параллельную оси зарядов серии, мы получим огибающую сверху для остальных взрывов.



Рис. 2. Зависимость локальной магнитуды промышленного взрыва от заряда ступени. Разрез Краснобродский, 3-й участок. 1-3 квартал 2018 года

Рассматривая результаты изучения магнитуд взрывов на разных разрезах и сравнивая их с теоретическими представлениями, можно выделить общие закономерности:

• Во всех случаях сейсмический эффект определяется величиной заряда ступени, а не общей массой взрыва.

• В зависимости магнитуд взрывов от величины заряда ступени в среднем есть некоторый рост магнитуд с увеличением заряда, но при этом наблюдается значимое отклонение точек от осредняющей кривой. Не редки случаи, когда для взрывов с меньшими зарядами ступеней фиксируются большие магнитуды.

• В среднем на всех разрезах отмечается рост магнитуды с увеличением массы общего заряда, что не соответствует физическим основам короткозамедленного взрывания. При идеальном исполнении короткозамедленного взрывания магнитуда должна не зависеть от числа взрывов в серии.

Одним из ограничений в сейсмическом воздействии на города и поселки является ограничение в проекте буровзрывных работ максимальной общей массы взрывчатых веществ короткозамедленных взрывов. Проведенные исследования доказывают неэффективность таких мер. Поскольку добыча продолжается, увеличивается количество взрывов, а уровень взрывов по сейсмической энергии не снижается. Важным является вопрос: почему взрывы с существенно меньшей массой заряда иногда характеризуются существенно большей магнитудой? Наиболее вероятными причинами являются: неправильные схемы инициирования короткозамедленного взрыва; попадание в полосу возбуждаемых колебаний побочного экстремума частотной характеристики короткозамедленного взрывания.

На территории Кузбасса много разрезов, где ведутся взрывные работы. Совершенно ясно, что по количеству взрывчатых веществ [1] определяется лишь первое

приближение к оценке воздействия на недра колебаний, возбуждаемых промышленными взрывами. В данном случае мы воспользуемся результатами регистрации промышленных взрывов сетью сейсмологических станций [12]. Нас интересуют взрывы с локальной магнитудой 2.5 и более.

Карта плотности взрывов с магнитудой более 2.5 (рис. 3) показывает районы сильного техногенного воздействия на недра, это, прежде всего, район Абакана в Хакасии, район с запада от г. Междуреченска, район Талдинского угольного разреза в центральной части Кузбасса. Существенно меньше плотность взрывов с магнитудами более 2.5 в разрезах на линии Прокопьевск – Бачаты и практически нет таких взрывов северней Кемерово, в Новосибирской области.



Рис. 3. Карта плотности промышленных взрывов с MI≥2.5 в 2017 году

На рис. 4 даны сведения о землетрясениях в 2017 г. для районов добычи угля. Наибольшее количество техногенных землетрясений в этом году произошло в районе разреза Калтанский. Обращает внимание, что промышленных взрывов с большим сейсмическим эффектом в районе данного разреза не проводилось. Также в районе г. Ленинска-Кузнецкого в 2017 г. зафиксировано большое количество техногенных землетрясений, а промышленных взрывов с большим сейсмическим эффектом там не было. Восточнее г. Новокузнецка присутствует техногенная сейсмическая активность, а промышленных взрывов с сильным сейсмическим эффектом нет. Около г. Междуреченска наведенная сейсмичность смещена к востоку в район шахты «Распадская», а максимум числа промышленных взрывов с большим сейсмической активности и промышленных взрывов с большими значениями магнитуд наблюдается в районе Талдинского угольного разреза. В Новосибирской области взрывов с большим сейсмиче ским эффектом тоже не было, а техногенные землетрясения присутствуют.

Нет однозначной связи между сейсмическим воздействием на земную кору от промышленных взрывов и формирующейся в Кузбассе наведенной сейсмичностью. Фактором, который может быть причиной формирования наведенной сейсмичности, является техногенное изменение рельефа местности.

В Кузбассе распространена наведенная сейсмичность около шахт. Активизируются недра под горной выработкой на глубину чуть больше километра. Установлено влияние вибрации на сейсмический процесс около подземных выработок [7, 11, 16].



Представленные данные о приуроченности наведенной сейсмичности к горным выработкам позволяют сделать выводы о техногенной природе землетрясений и в то же время не доказывают конкретной причины их возникновения.

Наведенная сейсмичность формируется как изменение сейсмического режима за счет деятельности людей. В любом случае закономерности природного тектонического процесса играют значительную роль в формировании сейсмичности Кузбасса. Кузнецкая впадина – одна из впадин Алтае-Саянской горной области в ячеистой структуре данного региона (чередование систем впадин, разделенных горными массивами). Общие закономерности сейсмичности Алтае-Саянской горной области исследованы в работе [6]. Основные закономерности сейсмического режима данного региона:

• В сейсмическом режиме региона следует выделить фоновую сейсмичность и сейсмические активизации, как правило, связанные с крупными землетрясениями.

• Фоновая сейсмичность, хаотичная на первый взгляд, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой Алтае-Саянского региона, концентрируясь преимущественно в горном обрамлении впадин. Наблюдается стабильность проявления тектонических процессов в фоновой сейсмичности по времени, а также иерархия этих процессов по скорости проявления в сейсмичности. Геологические структуры с наиболее быстро протекающими тектоническими процессами проявляются в организации фоновой сейсмичности за год, основные черты которой повторяются из года в год. Разделение структур по скорости проявления в фоновой сейсмичности проливает свет на напряженное состояние блоков земной коры.

• Сейсмические активизации можно рассматривать как нестационарный режим той или иной геологической структуры. Мощные сейсмические активизации структур Алтае-Саянской области формировались вокруг крупнейших землетрясений, прежде всего, как афтершоковый процесс. Крупным землетрясениям сопутствуют достаточно индивидуальные по сценарию развития сейсмические активизации. Все крупные землетрясения приурочены к зонам, стабильно проявляющим себя в сейсмичности
за год. На сегодняшний день не во всех активных по землетрясениям малых энергий зонах происходили крупные события. Крупным активизациям предшествуют попытки упорядоченной активизации этих же структур, часто неоднократные, не увенчавшиеся крупными землетрясениями.

Кузнецкая впадина характеризовалась повышенной сейсмичностью горного обрамления, но добыча угля в крупных масштабах обеспечила изменение структуры сейсмичности. Сейсмичность внутри впадины около горных предприятий является результатом крупного техногенного воздействия на земную кору. Следует отметить, что по данным глубинных сейсмических зондирований [17, 18] в Кузнецкой котловине мощность осадочных пород более десятка км. Фактически мы имеем один из самых прочных блоков земной коры в Алтае-Саянской складчатой области. Техногенные сейсмические активизации протекают в осадочных породах Кузнецкой впадины, что также не характерно для природной сейсмичности.

Результаты:

• Разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведенной сейсмичностью.

• Отмечается рост магнитуды взрывов с увеличением общей массы заряда, хотя при короткозамедленном взрывании магнитуда должна зависеть от заряда ступени и не зависеть от общего заряда. Обнаруживаются факты взрывов в одном и том же разрезе с меньшим общим зарядом, но с большей магнитудой, чем у взрывов с большим общим зарядом. Фактически сейсмическая сеть станций позволяет контролировать правильность технологии взрывания на разрезах.

• Фактически сейсмическая сеть станций позволяет контролировать правильность технологии взрывания на разрезах, имеются возможности снижения сейсмического воздействия. Наиболее вероятной причиной повышенного эффекта промышленных взрывов является совпадение времени инициирования зарядов в разных рядах короткозамедленного взрыва.

• В Кузбассе существует три вида наведенной сейсмичности, существенно отличающихся по своим характеристикам: 1. Наведенная сейсмичность, тесно связанная с работой лав. 2. Блуждающая наведенная сейсмичность в местах, где ранее велась добыча угля подземным способом. 3. Наведенная сейсмичность открытых горных выработок.

• Наведенная сейсмичность, связанная с работой лав, приурочена к забою и смещается во времени вместе с его перемещением. Активизируется область от подошвы выработки до глубины около километра ниже. Основные механизмы очагов взбросы. Максимальные магнитуды техногенных землетрясений меньше трех.

• Блуждающая наведенная сейсмичность фиксировалась дважды. Глубины событий от одного до пяти км. Максимальные магнитуды менее трех.

• Наведенная сейсмичность открытых горных работ связана с активизацией под выработкой или в зоне отвалов. Активизацией охватываются недра от подошвы выработки до глубин 4-5 км. Максимальная магнитуда 6.1, нередки события с магнитудами 3÷4. Механизмы очагов преимущественно взбросы.

• Установлены факты отсутствия техногенных землетрясений около выработок с большой энергией взрывного воздействия, и, наоборот, выявлены случаи существования наведенной сейсмичности в местах отсутствия непосредственного взрывного воздействия на активизированную зону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Адушкин В. В. Триггерная сейсмичность Кузбасса // Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы III всероссийского семинара-совещания. 2015. С. 8-28.
- 2. Адушкин В. В. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 5. С. 709-724.
- 3. Друкованый М. Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М. : Недра, 1973. 402 с.
- Еманов А. Ф. Корреляционный метод сжатия сигналов для обработки сейсмограмм промышленных взрывов // Геология и геофизика. 1980. № 4. С. 77-86.
- 5. Еманов А. Ф. Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // Геология и геофизика. 1982. № 9. С. 81-89.
- 6. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области / Еманов А.Ф. [и др.] // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы международной конференции. Новосибирск, 2003. С. 73-86.
- Промышленные взрывы и техногенная сейсмичность / Еманов А.Ф. [и др.] // Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействия на объекты недропользования. Новосибирск : СО РАН, 2008. С. 228-366.
- 8. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе / Еманов А.Ф. [и др.] // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 1. С. 49-64.
- 9. Экспериментальные исследования триггерных эффектов в развитии наведенной сейсмичности в Кузбассе / Еманов А.Ф. [и др.] // Землетрясения России в 2009 году. Обнинск : ГС РАН, 2011. С. 87-89.
- 10. Экспериментальные исследования наведенной сейсмичности в Кузбассе / Еманов А.Ф. [и др.] // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия. Новосибирск, 2012. С. 426-459.
- 11. Техногенная сейсмичность шахты «Распадская» / Еманов А.Ф. [и др.] // Землетрясения России в 2012 году. Обнинск : ГС РАН, 2012. С. 90-95.
- Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса / Еманов А.Ф. [и др.] // Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы III-го всероссийского семинара-совещания. М. : ГЕОС, 2015. С. 190-199.
- 13. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 в Кузбассе сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых / Еманов А.Ф. [и др.] // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т.43. № 4. С. 34-60.
- 14. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведенная сейсмичность / Еманов А.Ф. [и др.] // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т.44. № 4. С. 51-62.
- 15. Зиневич А. Н., Филина А. Г., Еманов А. Ф. Статистический подход к распознаванию промышленных взрывов и землетрясений // Методы изучения, строение и мониторинг литосферы. Новосибирск, 1998. С. 205-212.
- 16. Змушко Т. Ю., Турунтаев С. Б., Куликов В. И. Связь шахтной сейсмичности с режимом горных работ на шахтах г. Воркуты // Динамические процессы в геосферах: сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2011. Вып. 2. С. 75-88.
- 17. Глубинные сейсмические исследования в Кузбассе с применением промышленных взрывов и аппаратуры «Тайга» / Крылов С.В. [и др.] // Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. М. : Наука, 1970. С. 114-123.

- 18. Глубинные сейсмические исследования в районе Салаирского кряжа / Крылов С.В. [и др.] // Геология и геофизика. 1971. №7. С. 114-123.
- Эксперименты по обнаружению наведенной сейсмичности на севере Кузбасса / Фатеев А.В. [и др.] // Землетрясения России в 2012 году. Обнинск : ГС РАН, 2012. С. 87-89.
- 20. Frantti G. E. Spectral energy density for quarry explosions // Bull. Seism. Soc. Am. 1963. V. 53, N 5. P. 989-996.

SEISMIC EFFECT OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS IN WESTERN SYBERIA AND INDUCED SEISMICITY

¹Nikolay A. Serezhnikov, ¹Alexander F. Emanov, ^{1,2}Aleksey A. Emanov, ^{1,2}Alexander V. Fateev, ¹Elena V. Shevkunova, ¹Uliana Y. Vorona ¹ASB GS RAS, ²IPGG SB RAS, Novosibirsk serezhnikov@gs.sbras.ru, emanov@gs.nsc.ru, alex@gs.nsc.ru, fateev@gs.sbras.ru, elenash@gs.sbras.ru, ulyana@gs.sbras.ru

Summary. According to the network of seismological stations, the seismic effect of short-delayed explosions on coal quarries of Kuzbass and induced seismicity in the same region was studied. The quarries with the strongest magnitude industrial explosions are not the quarries with the strongest induced seismicity. The nature of the onset of induced seismicity can be associated with a technogenic change in the terrain. It is established that the magnitudes and the parameters of the short-delayed blasting have the possibility to control the correctness of the blasting technology. Comparison with the registered induced seismicity showed that the sections with the strongest induced seismicity showed that the strongest induced seismicity.

Key words: Western Siberia, short-delayed blasting, seismic effect, induced seismicity.

УДК 550.8.028 ОПЫТ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАСШИРЕННОГО И СТАНДАРТНОГО КОМПЛЕКСА ГИС

Сивкова Анастасия Владимировна ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень SivkovaAV@tmn.lukoil.com

Аннотация. В данной работе рассматриваются установление прямых признаков коллектора по ГТИ, использование данных спектрального нейтронного каротажа для идентификации литотипов баженовской толщи, использование волн Стоунли для выделения трещиноватых интервалов.

Ключевые слова: баженовская свита, геолого-технические исследования, силицит, трещиноватость, акустический каротаж, спектральный нейтронно гамма-каротаж.

Отложения баженовской свиты наиболее досконально исследованы на площадях Салымского района, где в целом ряде скважин был осуществлен сплошной отбор керна, позволивший не только изучить литологические особенности пород, но и дать оценку их коллекторских свойств. По данным газового каротажа в разрезе баженовской свиты Верхне-Салымского месторождения и аналогов выделяются три изолированных резервуара: в верхней пачке баженовской свиты, в ее середине и резервуар на границе с подстилающей абалакской свитой. Наилучшим из них является резервуар в середине свиты, он также характеризуется существенным изменением скорости проходки при бурении и представлен преобразованным силицитом.

На N-ском месторождении также наблюдается изменение показаний геологотехнических исследований (ГТИ): газового каротажа, детального механического каротажа, изменение расхода жидкости для средней части баженовской свиты, где возможно обнаружение потенциального интервала коллекторов. Т.к. все исследователи предполагают трещинный и трещинно-поровый тип коллектора, то продуктивными интервалами отложений баженовской свиты N-ского месторождения могут быть как трещинно-поровые карбонатные отложения, так и трещиноватые или листоватые бажениты, сложенные керогеном и кремнеземом.

По описаниям керна предполагаемый коллектор в средней пачке баженовской свиты представлен силицитами с вторичной доломитизацией и вторичными известняками, на диаграмме ГИС имеющих вид, приближенный к характеристике плотных карбонатных прослоев (рис. 1). Максимальные значения пористости по керну (керосинонасыщение) для отложений баженовской свиты составили: для вторичных известняков – 3.24 %, для силицитов – 5.92 %. В связи с полученными низкими значениями пористости матрицы следует предполагать наличие притока только при условии развития вторичной (трещинной) пористости. По технологическим параметрам ГТИ данный интервал характеризуется снижением давления и ростом производительности буровых насосов, что указывает на трещиноватость и проницаемость данных отложений (рис. 2) [2].

По результатам полного комплекса ГТИ возможно провести корреляцию по скважинам со стандартным и расширенным комплексом ГИС, где также были отмечены перечисленные характерные особенности, что, в свою очередь, позволит проследить перспективный интервал баженовской свиты по площади месторождения.



Рис. 1. Нефтенасыщенные литотипы баженовской свиты



Рис. 2. Сопоставление данных гамма-каротажа с содержанием гадолиния по укрупненным литотипам баженовской свиты

В качестве расширенного комплекса рассматривались методы ГИС: широкополосный акустический каротаж, спектральный нейтронный каротаж, спектральный гамма-каротаж.

Акустический каротаж, а именно его широкополосная модификация (АКШ), позволяет выполнять оценку скоростей продольной, поперечной и волны Стоунли. И, следовательно, оценить наличие трещиноватых интервалов. Однако часто в интервале баженовской свиты поперечная волна и волны Стоунли почти не прослежены, так как наблюдается сильное затухание данных волн в указанных интервалах.

Вещественный состав пород по данным спектрального нейтронного гаммакаротажа (СНГК) определяется на основании разложения пластового спектра на модельные спектры элементов путем решения системы уравнений. Решение системы осуществляется в итерационном процессе. В результате обработки показаний прибора СНГК были получены концентрации таких элементов как: железо (Fe), гадолиний (Gd), титан (Ti), хлор (Cl), кремний (Si), сера (S), кальций (Ca), натрий (Na).

Глинистые минералы выделялись в соответствии с массовым содержанием железа, за вычетом железосодержащих минералов. Карбонаты определялись с учетом массового содержания кальция, и включают в себя известняки и доломиты. Натриевые полевые шпаты выделялись на основании массового содержания натрия. Калиевые полевые шпаты определялись по данным спектрального ГК, по параметрам Торий (Th) и Калий (K). Пирит и сидерит определялись в соответствии с массовым содержанием серы и железа. Кварц в модели породы по данным СНГК определяется по нормировочному принципу: Кварц =100 % – Пирит – Карбонаты – К/Na-Шпаты – Глины – Кероген.

Увязка по глубине производилась к данным основного комплекса. Компонентная модель разреза по данным СНГК подтверждает возможность расчленения отложений баженовской свиты на несколько основных пачек.

При регистрации СГК полный спектр измеренного гамма-излучения разделяется на три наиболее характерных компонента естественного излучения в осадочных породах – излучение калия, тория и урана (соответственно К, Th и U). Эти данные служат для определения состава глинистых минералов. Формирование же первично обогащенных ураном осадочных отложений (углеродисто-кремнистые сланцы, битуминозные известняки, каустобиолиты и др.) тесно связано с накоплением и распределением в зоне литогенеза органического вещества. Наиболее вероятным представляется совместное влияние процессов механического обогащения ураном и торием грубозернистых осадков (за счет акцессориев) и осаждения урана в результате восстановления и сорбции органическим веществом, что приводит к изменению торий-уранового соотношения (Th/U). Применение СГК позволяет по содержанию урана и тория контролировать интервалы вторичных преобразований.

Целью настоящей работы был комплексный анализ данных геофизических исследований скважин для идентификации литотипов в баженовской свите, а также интервалов коллекторов (порово-трещинного типа). Поэтому была выполнена попытка комплексирования данных СНГК со стандартным комплексом ГИС с целью получить количественные параметры для разделения различных литотипов БС и выделения коллекторов [1].

Лучшая эффективность характерна для комплекса: ГК – содержание гадолиния (Gd), ГГКп – содержание алюминия (Al), НКТб – содержание кремния (Si). При этом без использования корреляции литотипы баженовских отложений приходиться укрупнять, а расчленение разреза осуществлять пошагово. Например, по сопоставлению ГК-Gd можно выделить области: 1) силицит радиорялитовый и силицит глинистый, 2) битуминозный аргиллит и карбонатизированные силициты (рис. 2). Выделенные литотипы могут быть далее диагностированы по содержанию алюминия (по СНГК): битуминозные аргиллиты Al>10 %, карбонатизированные разности 4 % <Al<10 %, силицит радиоляритовый (с признаками проникновения) Al <4 %. Данное сопоставление является ориентировочным из-за нерепрезентативности выборки. На качественном уровне по скважине №866 (рис. 3) также отмечено, что интервал коллекторов «третьей пачки» баженовской свиты характеризуется увеличением содержания кремния по содержания серы и увеличению кальция по сравнению с другими интервалами баженовской свиты.



Рис. 3. Результаты интерпретации данных СНГК по скважине 866

Проведенное исследование показало, что наиболее адекватные результаты в типизации разреза баженовских отложений могут быть получены при сопоставлении данных керна, спектрометрии и ГТИ. Кроме того, прогнозируемые с учетом данных керна, спектрометрии и ГТИ эффективные мощности коллекторов порово-трещинного типа совпадают, чему можно доверять.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Генетические аспекты формирования баженовской свиты и критерии прогноза ее промышленной продуктивности / Коровина Т. А. [и др.]. Тюмень : Тюменское отделение «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз», 2004.
- 2. Лукьянов Э. Е. Интерпретация данных ГТИ. Новосибирск : Издательский Дом «Историческое наследие Сибири», 2011.

THE EXPERIENCE OF LITHOLOGICAL DISSECTION OF DEPOSITS OF THE BAZHENOV FORMATION, TAKING INTO ACCOUNT THE GIS COMPLEX

Anastasiia V. Sivkova Tyumen Industrial University, Tyumen SivkovaAV@tmn.lukoil.com

Summary. In this paper we consider the establishment of direct collector attributes for the GTI, the use of spectral neutron logging data to identify the lithotypes of the Bazhenov series, the use of Stoneley waves to isolate fractured intervals.

Key words: Bazhenov Formation, geological and technical studies, silicite, fracturing, acoustic logging, spectral neutron gamma logging.

УДК: 550. 832.05: 681.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗЕ ТЕХНОГЕННОГО КАВЕРНООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН

¹Сиразетдинов Ильшат Тагирович, ¹Гайфуллин Яхия Самигуллинович, ²Борисова Любовь Константиновна ¹ПАО НПП «ВНИИГИС», ²АО НПФ «ГИТАС», г. Октябрьский info@vniigis.com, otdel19@gitas.ru

Аннотация. Показано, что результаты построения объемных литологических моделей горных пород, вскрываемых скважинами, позволяют повысить достоверность прогноза техногенного кавернообразования и оценки устойчивости стенок скважин по ядерно-геофизическим методам. Полученные данные используются для предотвращения аварийных ситуаций, оптимизации технологии извлечения продукта и продления срока эксплуатации скважины.

Ключевые слова: техногенные каверны, эксплуатация скважины, ядерно-геофизические методы, петрофизическое моделирование.

При использовании геофизической информации в процессе мониторинга заколонного пространства скважин на всех этапах их строительства и эксплуатации необходим анализ различных факторов. В целом измеряемые параметры зависят как от технического состояния околоскважинного пространства, так и от петрофизических параметров горных пород. Обоснованное разделение этих факторов возможно на основе применения петрофизического моделирования. Кроме того, в результате получения данных о литологических особенностях горных пород появляется дополнительная информация для прогноза условий кавернообразования и разрушения пород.

Для скважин любого типа – от инженерных до добычных – прогноз устойчивости стенок скважины является актуальной задачей. Решение данной задачи позволяет принять своевременные и обоснованные меры для предотвращения аварийных ситуаций.

Как известно, устойчивость стенок скважины зависит от тектонических особенностей вскрываемого скважиной геологического разреза, структуры и состава горных пород. Поэтому при проектировании скважин вся геологическая информация тщательно прорабатывается не только с точки зрения решения стоящих перед скважиной задач, но и с точки зрения предотвращения аварийных ситуаций. При бурении и креплении ствола скважины используют информацию о потенциально опасных зонах и интервалах, выявляемых на основании проектных геологических разрезов, построенных по данным о стратиграфии, тектонике и литологии отложений. В процессе строительства скважины с учетом керновых, шламовых и геофизических исследований проектный геологический разрез уточняется на основании расчета объемной модели пород вскрытых отложений, что позволяет с высокой точностью прогнозировать устойчивость стенок скважины в процессе ее эксплуатации.

При построении объемной модели горных пород в условиях обсаженных скважин основополагающей является информация, получаемая по радиоактивным методам [4].

Прогноз вероятности возникновения и развития техногенных каверн в эксплуатирующихся пластах позволяет оптимизировать технологию извлечения газа и продлить срок эксплуатации скважины. Основными источниками информации при этом являются радиоактивные методы [1-3].

К наиболее информативным относятся спектрометрические виды радиоактивно-го каротажа:

– спектрометрический гамма-каротаж (СГК), позволяющий определить содержания естественно радиоактивных элементов (U, Th, K), выявить присутствие полевошпатовых минералов и построить минералогическую модель глин, оценить наличие слюдистых и разбухающих разностей;

– спектрометрические модификации нейтронного гамма-каротажа в стационарной (СНГК) и/или импульсной (С/О каротаж) в комплексе с ННКт и/или ИННК, позволяющие моделировать элементный состав исследуемых сред и, соответственно, получить информацию о литологии горных пород.

По возможности данная информация дополняется и другой различной информацией, в том числе, полученной на этапе бурения, такой как данные ПС, ГК кавернометрии открытого ствола, электрических методов, нейтронного, акустического, плотностного каротаж и т.п.

Наличие дополнительных данных по открытому стволу повышает достоверность построения литологических моделей, однако в условиях обсаженных скважин не является определяющим.

Для построения объемной модели по комплексу ГИС, ПАО НПП «ВНИИГИС» и АО НПФ «ГИТАС» разработана специальная методика на базе программы ОРТСОМ в системе ПРАЙМ, основанная на петрофизическом моделировании всей имеющейся информации для обсаженной скважины. Это позволяет целенаправленно анализировать совокупность различных влияющих факторов, в том числе путем визуального анализа построенных планшетов. Для условий обсаженной скважины важным является учет факторов, включающих аппаратурные, геолого-геофизические и технологические данные связанных со свойствами обсадных колонн и НКТ, флюида в скважине и затрубном пространстве, тампонажной смеси и т.п.

Спектрометрические методы радиоактивного каротажа в условиях обсаженной скважины являются наиболее информативными и позволяют оценить элементный состав исследуемых отложений. При этом появляется возможность расчленить не только основные минералы горной породы, но и минералы цемента и глин, а также эффективную пористость, т.е. параметры, в значительной мере определяющие физикомеханические свойства горной породы. Так наибольшей прочностью характеризуются горные породы кварцевого состава, наименьшей – легкорастворимые породы эвапоритовой формации. Кремнистые и карбонатные цементы терригенных отложений способствуют повышению прочности, глинистые – понижению. При этом состав глинистых отложений влияет на устойчивость стенок скважины не только напрямую, но и косвенно через текстуру горных пород. Например, слюдистые минералы способствуют формированию слоистой текстуры, существенно снижающей прочностные свойства горной породы.

Таким образом, информация об объемной литологической модели, рассчитанная преимущественно на основе спектрометрических методов каротажа, может быть использована при прогнозе устойчивости стенок скважины. Данная информация используется также при прогнозе техногенного кавернообразования, возникающего в результате выноса материала терригенного коллектора вместе с газом в процессе эксплуатации объекта. Это приводит не только к разрушению самого коллектора, но и к ускорению износа скважинного оборудования, образованию песчаных пробок и т.д.

Техногенному кавернообразованию наиболее подвержены пласты с высокой проницаемостью, слабо сцементированные и слюдистые со слоистой текстурой и повышенной неоднородностью. Следовательно, для решения задачи прогноза техногенного кавернообразования объемная модель должна отражать не только основные породообразующие составляющие (для терригенного разреза это песчаник и глина), но и состав, долю цемента, минеральный состав глинистой составляющей, долю полевошпатовых песчаников, эффективную пористость, а также тонкослоистое строение пласта.

Анализ всей информации с учетом литологической модели позволяет выявить интервалы возможного кавернообразования. Например, на рис. 1 показана объемная модель вскрытых скважиной песчано-глинистых горных пород с карбонатным цементом, распространенном на всем интервале исследований за исключением выделенного интервала (2190-2192 м), представленного глинистым пропластком. Отсутствие карбонатизации при значительных глубинах залегания само по себе уже указывает на повышенную хрупкость отложений и, следовательно, вероятность разрушения стенок скважины в процессе бурения. Ситуация усугубляется повышенным содержанием слюдистых минералов, определенным по СГК в составе пропластка, присутствие которых также приводит к ослаблению текстуры отложений и неустойчивости стенок скважины. Таким образом, согласно объемной модели, глинистый интервал 2190-2192 м характеризуется как наименее устойчивый и, наиболее вероятно, кавернозный. По данным кавернометрии в этом интервале регистрируется каверна, что подтверждает выводы о неустойчивости стенок скважины, сделанные на основе анализа объемной модели.



Рис. 1. Выявление техногенной каверны на основании литологического состава отложений

Другой причиной неустойчивости стенок скважины является тонкослоистое строение отложений. На рис. 2 показан пример такого разреза. Верхняя часть пласта (1170-1175 м) представлена однородными кварц-полевошпатовыми песчаниками с карбонатным цементом, обеспечивающим устойчивость стенки скважины. Нижняя часть (1175-1190 м) – переслаиванием маломощных аргиллитов, алевролитов и алевропесчаников. Частая смена существенно различающихся по составу и физическим свойствам литотипов при слабой и отсутствующей карбонатизации и высокой пористости песчанистых прослоев указывает на значительную неоднородность свойств этой части пласта. В совокупности с его слоистой текстурой это приводит к неустойчивости ствола скважины и повышению вероятности кавернообразования, что и подтверждается данными кавернометрии, выявившими увеличение диаметра скважины, соответствующее аргиллитовым прослойкам.



Рис. 2. Прогноз кавернообразования в условиях тонкослоистого пласта

Глинистые отложения независимо от их минералогического состава являются наиболее неустойчивыми по сравнению с карбонатными и песчанистыми разновидностями, для которых наивысшей прочностью обладают однородные кварцевые породы с кремнистой и карбонатной цементацией и массивные карбонаты. Например, из рис. 3 а хорошо видно, что наибольшему разрушению в процессе бурения подвергся ствол скважины в глинистых интервалах, значительно слабее развита кавернозность в зоне пласта кварцевых песчаников девона (DIV) и наиболее устойчивы стенки скважины в области карбонатного пласта. Аналогичная ситуация наблюдается для терригенного разреза (рис. 3 б), где наиболее кавернозные стенки скважины также соответствуют глинистым отложениям. При этом видно, что чем больше слюдистых и минералов входит в состав глин, тем интенсивнее деформация ствола скважины. Наименьшей кавернозностью характеризуются песчаные пласты с карбонатно-глинистым цементом.



Рис. 3. Устойчивость стенок скважины в зависимости от литологии отложений

Техногенные каверны могут образовываться не только при бурении скважины, но и при ее эксплуатации. Этот тип кавернообразования характерен для вскрытых перфорацией пластов и зависит не только от текстурно-структурных особенностей объекта, но также и от его фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и интенсивности отбора продукта.

На рис. 4 показан пример развития каверн в результате выноса материала коллектора в ствол скважины при интенсивном отборе продукта. Анализ объемной модели позволяет прогнозировать кавернообразование в интервале 1634.5-1635.3 м, характеризующемся наибольшей эффективной пористостью и проницаемостью, обусловленной низкой глинистостью, отсутствием карбонатного цемента и наличием полевых шпатов. При интенсивном отборе газа из пласта образование каверны наиболее вероятно именно в этом интервале, что подтверждается сопоставлением результатов кавернометрии ГИС бурения (DS) и текущей кавернометрии по результатам ядерного каротажа (DS_мнк). Из рисунка видно, что при бурении скважины каверна в этой части пласта не наблюдалась и появилась позже в результате эксплуатации объекта. В интервале 1637-1641.3 м, напротив, каверномер зарегистрировал увеличение диаметра скважины, обусловленное повышенным содержанием слюдистых минералов глинистого цемента песчаника. Однако значительная глинистость и присутствие карбонатной составляющей цемента привели к снижению ФЕС и, соответственно, не создали условий кавернообразования при эксплуатации в отличие от подошвенной части пласта (1641-1641.5 м), где даже при низких ФЕС отсутствие карбонатности песчаноглинистых существенно слюдистых отложений привело к незначительному, но разрушению ствола скважины.



Рис. 4. Прогноз техногенной кавернозности работающего коллектора

Таким образом, петрофизическое моделирование литологических особенностей пород позволяет получать информацию для более обоснованного прогноза вероятности техногенного кавернообразования в процессе эксплуатации скважины и прогноза устойчивости стенок скважины в процессе ее строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Гайфуллин Я. С., Кожевников Д. А. Изучение состояния цемента в затрубном пространстве газовых скважин методом естественной радиоактивности // НТВ «Каротажник». 2008. Вып. 6 (171). С. 83-91.
- 2. Контроль состояния скважин на ПХГ геофизическими методами. / Перелыгин В.Т. [и др.] // Материалы совещания «Обеспечение промышленной безопасности объектов подземного хранения газа ОАО «Газпром». ОАО Газпром экспо». 2012.
- Использование литологической модели при исследовании работающих газовых скважин / Гайфуллин Я. С. [и др.] // НТВ «Каротажник». 2011. Вып.12 (210). С. 16-23.
- 4. Опробование комплекса спектрометрических методов ядерно-геофизического каротажа в скважинах ПХГ / Даниленко В. Н. [и др.] // Газовая промышленность. 2007. № 11. С. 52-54.

USE OF PETROPHYSICAL MODELING DATA IN THE PREDICTION OF INDUSTRIAL CAVING FORMATION IN THE PROCESS OF WELLS CONSTRUCTION AND OPERATION

¹Ilshat T. Sirazetdinov, ¹Yahiya S. Gaifullin, ²Lyubov K. Borisova ¹PAO NPP VNIIGIS, ²AO NPF GITAS, Oktyabrsky info@vnigis.com, otdel19@gitas.ru

Summary. It is shown that the results of constructing volumetric lithological models of rocks, which are opened by wells, make it possible to increase the accuracy of the prediction of industrial caving formation and assess the stability of wellbore walls using nuclear methods. The acquired data are used to accident prevention, optimize product production system and extend the life of a well.

Key words: industrial cavities, well operation, nuclear methods, petrophysical modeling.

УДК 550.34 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ ВБЛИЗИ КАМЧАТСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПО ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Скоркина Анна Александровна ИТПЗ РАН, г. Москва anna@mitp.ru

Аннотация. Известно, что характеристики сейсмических записей обусловлены тремя составляющими: параметрами очага, условиями распространения сейсмических волн (строением среды) и локальными грунтовыми условиями в пункте установки сейсмической станции. Одним из способов оценки локальных грунтовых условий является метод спектральных отношений. В данной работе в качестве исходных данных выбраны более 800 телесейсмических записей для оценки спектральных характеристик среды вблизи 8 камчатских станций сильных движений. Ключевые слова: телесейсмические записи, спектральная характеристика среды, локальные грунтовые условия, метод спектрального отношения, Камчатка.

Введение.

Обязательным этапом работы для широкого круга задач, включая оценку сейсмической опасности или проблему устойчивой сетевой оценки магнитуды, является исследование спектра отклика среды. Под откликом среды понимается специфическое для участка, на котором установлена сейсмическая станция, частотно-зависимое усиление колебаний различных частот. Такое усиление возможно оценить с помощью двух типов спектра: спектров Фурье или спектров реакции. Оценки, полученные с помощью спектров Фурье с использованием эталонной станции, условно назовем относительными спектрами отклика среды, или эмпирическими спектральными характеристиками среды вблизи сейсмических станций. В зависимости от уровня сейсмичности и реги-

Таблица

страционных возможностей сейсмических сетей набор методов для оценки таких характеристик может варьироваться.

На Камчатке основные усилия по изучению грунтов были сосредоточены вокруг г. Петропавловск-Камчатский. Так, систематические исследования В.В. Штейнберга и С.А. Федотова [5] и И.А. Ершова [2] позволили выделить здесь несколько типовых грунтовых комплексов со специфическими ожидаемыми спектрами сильных движений. В последующие годы оценка собственно спектров отклика грунта с использованием эталонной сейсмической станции («Петропавловск», код РЕТ) проводилась для отдельных площадок в рамках заказных работ (например, [1]). С появлением на Камчатке сети цифровых станций [4] появилась возможность систематически изучить спектры откликов среды в точках размещения этих станций в широком диапазоне частот методом отношения спектров поперечных/кода-волн региональных землетрясений [3].

Одним из ограничений такого подхода являются случаи, когда строение среды между парой станций изменяется существенно на интервале разреза, и имеющиеся модели затухания оказываются не применимы. Так, спектры откликов среды, полученные, например, для станции «Беринг» (код BKI), относительно опорной станции «Петропавловск» (РЕТ), располагающейся на расстоянии более 500 км (таблица), характеризуются неустойчивым результатом.

Альтернативой региональным землетрясениям могут являться телесейсмические записи. В таком случае, поскольку гипоцентральные расстояния много больше размера апертуры, отличиями в пути распространения сейсмических волн можем пренебречь [6].

Исходные данные.

В качестве исходных данных были выбраны записи 102 землетрясений с 2006 по 2014 гг. (рис. 1), диапазон магнитуд $M_w = 6.5-8$, с глубинами до 100 км, удаленными от станции «Петропавловск» (РЕТ) на 51.4° – 90.7°, с качеством первого вступления «і» (импульсное). Рассмотрены записи с 8 станций (и одной опорной), информация о которых приведена в таблице.

Рег. код, название с/ст, Δ_{PET}	φ , °	λ, °	<i>h</i> , м	Геологическая информация
ВКІ («Беринг»), 535 км	55.19	165.98	12	конгломераты, псаммитовые (среднеобломочные) туфы
КВС («Крутоберегово»), 445 км	56.26	162.71	30	слабо сцементированный галечник аллювиального происхождения
ТUMD («Тумрок»), 268 км	55.20	160.40	478	вулканогенно-осадочная толща
SPN («Шипунский»), 91 км	53.11	160.01	95	меловой или палеогеновый фунда- мент, покрытый коллювием
РЕТ («Петропавловск»), -	53.02	158.65	68	обширная интрузия габбро-диабазов, внедрившаяся в меловой фундамент
DAL («Дальний»), 7.0 км	53.03	158.75	57	меловой фундамент, покрытый тонким коллювием
IVS («Институт»), 5.5 км	53.07	158.61	160	вулканогенно-осадочная толща
КRМ («Карымшина»), 41 км	52.83	158.13	100	меловой или палеогеновый фунда- мент, покрытый крупнообломочным аллювием
КDT, («Ходутка»), 140 км	51.81	158.08	22	мел-палеогеновый фундамент, покрытый тонким коллювием

Информация	A	сойсминосичи	CTOHUGY
пшормация	U	UNUMPACINA A	стапшилл.



Рис. 1. Эпицентры землетрясений, записи которых использованы в работе



Рис. 2. Спектральные характеристики среды вблизи 8 сейсмических станций, определенные методом спектрального отношения (относительно с/с РЕТ), используя в качестве исходных данных телесейсмические записи

195

Метод и результаты.

Спектры рассчитывались программой, написанной в Matlab, которая визуализирует трассу смещений и ускорений в варианте компонент Z-R-T, позволяет интерактивно выбирать фрагмент для расчета спектра (как правило, до 20–25 с), определять соотношение сигнал-шум, и далее в оптимальном диапазоне частот рассчитывать спектры отдельно по каждой компоненте для выбранного сегмента трассы, с последующей визуализацией результата.

Далее рассчитывали спектральные отношения компонент Z-R-T исследуемой станции к соответствующим компонентам опорной станции (PET), с определением среднего спектрального отношения для каждой из станций. Результаты представлены на рис. 2.

Обсуждение и вывод.

Для сети сейсмических станций сильных движений Камчатки получены несколько вариантов эмпирических спектральных характеристик: по коллекции умеренных региональных землетрясений диапазона магнитуд M_w =3.5–4.5 [3] и по коллекции телесейсмических записей M_w = 6.5–8 (результаты текущей работы).

Сопоставление полученных характеристик на примере восьми станций (BKI, DAL, IVS, KBG, KDT, KRM, SPN, и TUMD) выявило эффект нелинейности для четырех из них (BKI, IVS, KBG, и TUMD), а именно, повышенное усиление амплитуд (относительно опорной станции PET) для слабого сигнала (телесейсмические землетрясения, и кода региональных землетрясений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Гусев А. А., Зобин В. М., Феофилактов В. Д. Определение расчетной бальности и оценка параметров максимальных колебаний грунта для площадки строительства на Камчатке // Физика Земли. 1998. № 4. С. 20-27.
- 2. Ершов И. А. Об оценке сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск : Наука. 1974. С. 82-90.
- 3. Скоркина А. А., Гусев А. А. Определение набора характерных частот очаговых спектров для субдукционных землетрясений Авачинского залива (Камчатка) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 7. С. 1057-1068.
- 4. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. / Чебров В. Н. [и др.] // Вулканология и сейсмология. 2013. №1. С. 18-40.
- 5. Штейнберг В. В., Федотов С. А. Оценка параметров колебаний почвы в г. Петропавловске-Камчатском при возможном сильном землетрясении // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск : Наука. 1974. С. 90-101.
- 6. Ferretti G., Massa M., Isella L., Eva C. Site-amplification effects based on teleseismic wave analysis: The case of the Pellice valley, Piedmont, Italy // Bulletin of the Seismological Society of America. 2007. T. 97. №. 2. P. 605-613.

DETERMINATION OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE MEDIA NEAR KAMCHATKA SEISMIC STATIONS USING TELESEISMIC DATA

Anna A. Skorkina IEPT RAS, Moscow anna@mitp.ru

Summary. Characteristics of seismic records are known to be formed by three key factors: source parameters, conditions of seismic waves propagation (or the structure of media) and local site effect. One of the methods to assess local site effects is the spectral ratio method. In this work, more than 800 teleseismic records were selected as the input data to assess the spectral characteristics of media near 8 strong motion stations of Kamchatka.

Key words: teleseismic records, spectral characteristics of media, site effect, spectral ratio method, Kamchatka.

УДК 550.8.028

ГЕОНАВИГАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Султанов Вильдан Фангарович, Яхина Ирина Айратовна, Васильев Алексей Владимирович ООО НПФ «ВНИИГИС-3ТК», г. Октябрьский sgs-ztk@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время существует тенденция увеличения строительства горизонтальных скважин и боковых стволов с применением современных систем контроля сопровождения и коррекции бурения, которые позволяют, в конечном счете, оптимально расположить ствол в продуктивном коллекторе. В данной статье демонстрируются традиционные методики построения геонавигационной модели и их техникотехнологические преимущества. Для примера приводится успешный опыт работ на объектах ООО «Лукойл-Пермь» при бурении боковых стволов с горизонтальным окончанием. Рассматривается применение аппаратурного комплекса каротажа в процессе бурения производства ООО НПФ "ВНИИГИС-3ТК» (г. Октябрьский) совместно с программным обеспечением компании ROGII, (г. Москва) для построения геонавигационной модели.

Ключевые слова: каротаж в процессе бурения, геонавигация, геологическое сопровождение, забойный телеметрический комплекс.

Актуальным направлением в мире, и, несомненно, в России является вариант геологического сопровождения строительства скважин – мониторинг бурения с корректировкой планового профиля. В большинстве случаев применяются технологии MWD (Measuring While Drilling) – измерения в процессе бурения, что необходимо для определения таких параметров, как зенитный и азимутальный углы, вертикальная глубина забоя и т.д. На основании полученной информации строится плановый профиль скважины в трехмерном пространстве, осуществляется прогнозный расчет оптимальной траектории бурения. Однако, для эффективной проводки скважины в коллекторе, иначе

говоря, расположения в наиболее продуктивной части, целесообразно бурить скважины с горизонтальным окончанием, где не обойтись без технологий LWD (Logging While Drilling) - каротажа в процессе бурения. Стоит отметить, что несмотря на непростую ситуацию в экономике России, научно-производственной фирме «ВНИИГИС-Забойные телеметрические комплексы» удается активно развивать направление оказания услуг телеметрического сопровождения с комплексом каротажа в процессе бурения и сервисом геонавигационного сопровождения. На базе электромагнитного канала связи телесистемы ЗТК-42 КК [2], являющейся собственной разработкой предприятия, помимо MWD комплекса уже созданы и прошли промышленные испытания модули LWD, включающие в себя методы электромагнитного и радиоактивного каротажей в процессе бурения [3]. Каротаж в процессе бурения в нашей стране начал развиваться сравнительно недавно, в то время как технологии LWD иностранных компаний уже представлены на Российском рынке обширным комплексом геофизических методов. На основании полученных данных, а также с привлечением априорной информации (сейсмические данные, геологические модели и др.) осуществляется управление траекторией ствола скважины. Подобного рода геологическое сопровождение подразумевает термин «геонавигация». Самой главной задачей геонавигации является своевременное принятие решение о коррекции траектории ствола скважины в зависимости от поступающей геофизической информации. Основная цель геонавигации – расположить ствол скважины в продуктивном пласте с наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами.

Геологическое сопровождение бурения горизонтальной скважины может осуществляться как простым методом – увязкой каротажных диаграмм, так и более сложным – построением имиджа (азимутальный каротаж). В первом варианте исполнения не требуются дорогостоящие азимутальные приборы и при определенных благоприятных геологических условиях возможна геонавигация при наличии одного из радиоактивных методов, например, гамма-каротажа. Азимутальный каротаж предполагает запись данных с определенного сектора (азимута) ствола скважины, результатом интерпретации данных азимутальных измерений является независимое определение угла падения пласта вдоль траектории ствола скважины [1]. Однако данный инструмент имеет высокую стоимость.

В 2018 г. наша компания проводила опытно-промышленные работы по геонавигационному сопровождению с применением комплекса LWD на объектах ООО «Лукойл-Пермь» в Пермском крае. ООО НПФ «ВНИИГИС-ЗТК» имеет большой опыт работ на месторождениях данного региона, но сервис каротажа в процессе бурения с геонавигационным сопровождением осуществлялся впервые. Бурение проводилось путем зарезки бокового ствола с горизонтальным окончанием скважины. Использовался забойный телеметрический комплекс ЗТК-42КК, в состав которого входили модуль нейтронного каротажа, модуль гамма-каротажа, модуль индукционного резистивиметра и модуль инклинометрии. Передача данных на поверхность осуществлялась в режиме реального времени, что позволило оперативно получать информацию о коллекторских свойствах пласта и прогнозировать дальнейшие действия по корректировке ствола скважины.

Процедура геонавигационного сопровождения состоит из нескольких этапов. На начальном этапе формируется база для построения геонавигационной модели, а именно геофизический материал уже пробуренных скважин (преимущественно вертикальных, наклонно-направленных), проектная документация, двумерные модели поверхностей и т.д. Далее производится выбор опорной скважины, на основании данных которой будет производиться увязка геофизического материала. Следующий этап построения геонавигационной модели – это создание геолого-геофизической колонки и синтетической кривой каротажа вдоль траектории бурящейся горизонтальной скважины. На основания и синтетической колонки и синтетической конования вдоль траектории бурящейся горизонтальной скважины.

нии этих данных строится предварительная двумерная модель. Обновление модели осуществляется путем загрузки кривых каротажа LWD (методы ГК, ННК, НГК, ИК), данных инклинометрии в специализированный программный комплекс. В процессе бурения горизонтальной секции ствола скважины производится оценка петрофизических свойств пласта на основании данных каротажа в процессе бурения. Заключительным этапом моделирования является предоставление заказчику оперативного отчета по геонавигации, который содержит: стратиграфический разрез, увязанные кривые синтетического каротажа и каротажа в процессе бурения, угол наклона пласта (для последнего сегмента), прогноз зенитного угла на забое, оценку рисков сближения с ВНК или выхода из целевого пласта. Оперативное управление процессом проводки ствола осуществляется инженером по геонавигации (рис.1).



Рис. 1. Схема взаимодействия при оказании услуг по геонавигационному сопровождению

На рисунке 2 приведен пример геологического сопровождения бурения горизонтального участка скважины Уньвинского месторождения (Пермский край). Проектом предусматривалось бурение на бобриковские терригенные отложения нижнего карбона. В процессе геонавигации выявилось несоответствие вертикальной мощности продуктивной части и положения стратиграфических границ относительно предварительной модели. Фактическая абсолютная от-

метка входа в продуктивный горизонт оказалась значительно ниже проектируемой. Также было установлено, что фактическая вертикальная мощность зоны неколлектора оказалась больше, чем заявлено планом работ. Полученная актуальная геофизическая информация позволила оперативно ввести корректировку в траекторию бурения. Профиль ствола скважины был перестроен на основании данных обновленной двумерной модели. Также специалистами по геонавигации на основании анализа показаний модуля индукционного каротажа была принята своевременная мера по остановке бурения ввиду критического сближения с уровнем водонефтяного контакта.

Успешность применения данной технологии при бурении горизонтальных скважин заключается в объединении инструментов LWD с современными программными



Рис. 2 Геонавигационная модель, построенная по данным комплекса LWD при бурении на Уньвинском месторождении (Пермский край)

комплексами и квалифицированным персоналом. Комплексный подход позволяет существенно повысить эффективность бурения горизонтальных скважин за счет оптимизации затрат и сокращении сроков строительства скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Куваев И., Уваров И., Пайразян К. ПО геонавигации. Современные подходы к оптимизации горизонтального бурения // Oil&Gas Russia. 2016. С. 48-52.
- 2. Опыт эксплуатации телесистемы с комбинированным каналом связи / Чупров В. П. [и др.] // НТВ "Каротажник". 2011. № 203. С. 5-10.
- 3. Развитие технологий каротажа во время бурения (LWD) на базе отечественного комплекса телеметрии с электромагнитным каналом связи /Абдрахманов Д. А. [и др.] // НТВ "Каротажник". 2016. № 265. С. 108-118.

GEOSTEERING – AS A TOOL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF HORIZONTAL WELLS DRILLING

Vildan F. Sultanov, Irina A.Yakhina, Alexei V. Vasiliev NPF ''VNIIGIS-ZTK'', Oktyabrsky sgs-ztk@yandex.ru

Summary. At present, there is a tendency to increase the construction of horizontal wells and side shafts with the use of modern control systems for tracking and correction of drilling, which ultimately allow optimal positioning of the trunk in the productive reservoir. This article demonstrates the traditional methods of building a geonavigation model and their technical and technological advantages. For example, the successful experience of work at the facilities of LLC "Lukoil-Perm" when drilling lateral shafts with horizontal end is given. Application of the hardware complex of logging in the course of drilling of production of LLC SPF "VNIIGIS-ZTK" (c. Oktyabrsky) together with the software of the company ROGII, (Moscow) for creation of geonavigation model is considered.

Key words: logging while drilling, geological support, geosteering, downhole telemetry systems.

УДК 550.837 ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ВЭЗ, ОСЛОЖНЕННЫХ СЛУЧАЙНОЙ ПОМЕХОЙ

Тайницкий Александр Александрович ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь tainickiy@mail.ru

Аннотация. Интенсивные помехи являются неотъемлемой частью получаемых полевых данных. В данной статье рассматривается возможность применения алгоритма подбора полного вектора параметров геоэлектрического разреза при решении обратной задачи ВЭЗ при наличии помех в исходных данных. Данный метод позволяет получать относительно достоверные параметры многослойного разреза при наличии в исходных данных помех, имеющих как нормальный, так и отличающийся от нормального законы распределения.

Ключевые слова: обратная задача ВЭЗ, помеха, минимизация эмпирического риска.

В наше время все больше исследований выполняется в пределах действующих промышленных объектов, городских агломераций в сложных геологических условиях, что накладывает отпечаток на качество получаемого материала. Интенсивные помехи становятся неотъемлемой частью получаемых полевых данных. Все более остро встает вопрос о разработке методов, методик и алгоритмов, способных выделять полезную информацию из «зашумленного» сигнала. Для повышения достоверности получаемых результатов предлагается метод, получивший название минимизации эмпирического риска, который на основании общих представлений об исследуемом разрезе позволяет рассчитать возможные варианты решения обратной задачи на множестве D допустимых решений и выбрать вариант, который наилучшим образом соответствует априорной информации.

Основной смысл метода заключается в том, что имеется некоторый объем (детерминистской) априорной информации I и множество вариантов интерпретации D, не противоречащих этой информации. Множество D рассматривается как область определения случайного вектора w, описывающего возможные значения неизвестных параметров геоэлектрического разреза. Если построить функцию P(w) плотности вероятностей вектора w на множестве D, это позволит понизить уровень неопределенности за счет ранжирования допустимых решений [1, 2].

Функция распределения плотности вероятности строится на допущении о свойстве помехи $Me(\eta) = 0$, которое указывает лишь на то, что нет объективных причин превалирования помех с каким-либо знаком в исходных данных. На этом же принципе основано разбиение *D* на систему взаимно пересекающихся подмножеств Ω_r [1, 2].

Минимум эмпирического риска обеспечивается вектором *w** с компонентами:

$$w^{*} = \sum_{r=1}^{l} p_{r} \,\overline{w}_{r,j}, \qquad j = 1, 2, \dots, m,$$
(1)
где $\overline{w}_{r,j} = \frac{1}{\mu(\Omega_{r})} \int_{\Omega_{r}} w_{j} \, dw_{1} dw_{2} \dots dw_{m}.$
(2)

В данной статье в рамках данного подхода к решению обратной задачи ВЭЗ, рассматривается возможность применения алгоритма подбора полного вектора параметров геоэлектрического разреза, а именно сопротивление и мощность каждого слоя при наличии помех в исходных данных.

В качестве примера использована кривая ВЭЗ типа НК, рассчитанная для четырехслойного геоэлектрического разреза, с параметрами, приведенными в таблице 1 (колонки 1 и 2). Для простоты вычислений границы интервалов, в пределах которых осуществляется поиск решения, рассчитаны из условия, что минимальные значения составляют 30 % от истинных, а максимальные – 130 %.

Для опробования работоспособности метода в условиях помех были промоделированы два типа случайных помех. Первый тип основан на преобразовании Бокса-Мюллера, имеющего нормальный закон распределения помехи N(0, 10), второй – на некоторой комбинации математических функций, соответственно с законом распределения помехи отличающийся от нормального. На рисунке 1 приведены гистограммы распределения помех, построенные по выборке более 2000 случайных значений.



Таблица 1

При решении обратной задачи для оптимизации вычислительного процесса вме-

сто перебора возможных параметров разреза, принадлежащих области допустимых значений { $\rho^{min}_{i} < \rho_{i} < \rho^{max}_{i}$, $h^{min}_{i} < h_{i} < h^{max}_{max}$ }, по равномерной сетке, используется более эффективный дискретный аналог, суть, которого заключается в генерации случайных векторов параметров разреза процедурами типа Монте-Карло [3, 4].

Для данной задачи было рассчитано по 100 вариантов решения обратной задачи, для каждого типа помех. В каждом варианте генерировалось 10⁵ случайных комбинаций вектора параметров. В результате полученный набор решений был представлен в виде гистограмм значений параметра для каждого слоя. В качестве примера на рисунке 2 приведены гистограммы распределения сопротивления для третьего слоя для каждого типа помех.



Рис. 2. Гистограммы распределения сопротивления третьего слоя для первого (а) и второго (б) типа помех

Как видно из гистограмм, полученные решения обратной задачи имеют некоторый разброс значений, но имеют унимодальный характер распределения. В таблице 2 приведены обобщенные результаты решения 100 вариантов ОЗ. Из таблицы 1 видно, что полученные значения достаточно неплохо соответствуют исходным данным.

Для количественной оценки качества полученных результатов рассчитано относительное среднеквадратичное отклонение обобщенных параметров разреза от истинных, где q – параметр разреза, сопротивление или мощность:

$$Q = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{q_i^{\text{MOR}} - q_i^*}{q_i^{\text{MOR}}}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} * 100$$
(3)

Для помехи, имеющей нормальный закон распределения, Q = 9.2 %, для второго типа помехи данный параметр составил 8.2 %.

Таким образом, метод МЭР позволяет достаточно достоверно восстанавливать параметры многослойного разреза при наличии в исходных данных помех, имеющих как нормальный, так и отличающийся от нормального законы распределения. Это, в свою очередь, дает возможность количественной интерпретации данных без их предварительной подготовки. Дальнейшие пути развития алгоритма связываются автором с возможностью проводить одновременный подбор серии кривых ВЭЗ вдоль профиля, что позволит снизить затраты времени на количественную интерпретацию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00320)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В. Смешанные вероятностнодетерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Геофизика. 2011. № 2. С. 20-29.
- Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В. Смешанный вероятностнодетерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Доклады Академии наук. Т. 438. № 4. 2011. С. 532-537.
- 3. Подавление знакопеременных помех при инверсии данных вертикального электрического зондирования / Балк П. И. [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. Вып. 2 (31). С. 55-63.
- Тайницкий А. А., Кичигин А. В. Интерпретация данных электроразведки методом минимизации эмпирического риска // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85летию Первой Всесоюзной геофизической конференции (г. Пермь, 23-24 ноября 2017 г.) / гл. ред. В.И. Костицын. Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. С. 191-195.

INTERPRETATION OF VES DATA COMPLICATED BY RANDOM NOISE

Aleksandr Tainitskiy PFRC UB RAS, Perm tainickiy@mail.ru

Summary. Intense noise is an integral part of the received field data. This article discusses the possibility of applying the algorithm for selecting the full vector of parameters of a geoelectrical section, when solving the inverse problem of VES, in the presence of noise in the source data. This method allows to obtain relatively reliable parameters of a multi-layered section in the presence of interference in the initial data, which have both normal and different distribution laws.

Keywords: inverse VES problem, noise, minimization of empirical risk.

УДК 550.34.013.4 СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОВЫХ ОТРАЖЕНИЙ ДЛЯ МЕТОДА ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ

Тамахин Александр Сергеевич ФГБОУ ВО ВГУ, «ОТ-ОЙЛ», г. Воронеж, snyyki@gmail.com

Аннотация. Рассматривается модель множественных случайных сейсмических отражений от глубоких внутрикоровых границ, не представляющих единую выдержанную поверхность раздела.

Ключевые слова: отраженные волны, стохастическая модель среды

В современной практике геофизических исследований важную роль играют глубинные исследования земной коры методами сейсморазведки. Такие исследования на протяжении последних 30 лет активно проводились на территории Восточно-Европейской платформы и Балтийского щита по системам комплексных геофизических геотраверсов [7, 15, 20]. Одну из важнейших ролей в данном комплексе исследований занимает сейсморазведка, а именно метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ). Это обусловлено эффективностью данного метода, результаты которого позволяют строить достоверные геолого-геофизические модели изучаемой среды на большую глубину [12, 16, 19].

Однако в этих исследованиях, на основе сопоставлении результативных материалов ГЗС и ОГТ, были выявлены некоторые несоответствия во внутреннем строении геологической среды разрезов, полученных с помощью указанных методов [11, 17, 18]. Отметим, что однозначная трактовка таких данных пока остается проблематичной [9], что связано со сложным строением земной коры и ее физическими свойствами, и в свою очередь, отражается на сейсмических образах земной коры [6, 10, 13]. Даже при достаточно большой выборке из некоторых практических материалов [8], полученных с помощью сейсморазведки, трудно однозначно определить те или иные структурные элементы, отраженные в разрезе и определить их природу. Эти явления возможно связаны с неоднородностью земной коры, что в свою очередь влияет на время прихода волны, образуя размытую границу раздела сред.

Целью данной работы является построение простейшей стохастической модели коровых отражений в рамках метода общей глубинной точки [1] для выявления влияния случайных воздействий на время прихода отраженной волны. В целом метод стохастического моделирования успешно зарекомендовал себя при решении разнородных задач региональной геофизики [2-4].

Для решения конкурентной поставленной задачи на базе комплекса компьютерной математики MathCad была реализована программа имитационного стохастического моделирования глубинных коровых отражений метода МОВ-ОГТ. Наиболее важным параметром в данной модели является число генерируемых моделей среды, именно оно позволяет достоверно оценить влияние физических параметров среды на конечный результат. Набор параметров, который случайно генерируется для заданного диапазона, представлен следующими величинами: скоростью распространения волн в среде, плотностными свойствами, уровнем наклона отражающей границы и глубиной отражающей границы. Эти данные задаются «плавающими», для оптимизации построения модели, при этом результаты, получаемые на выходе сопоставимы с реальными результатами полученных при геофизических исследованиях.



Рис. 1. Результат стохастического моделирования глубинных отражений на различных интервалах с дисперсией глубин 400 м (а) и 600 м (б)

Входные данные формируются в программе в виде массивы с логистическим распределением параметров модели среды, контроль над которыми осуществляет отдельно написанный логический программный блок, гарантирующий невыход формируемых параметров за границы заданного диапазона величин. Для визуальной оценки также был реализован блок построения гистограмм параметров модели среды, позволяющий оценить необходимые первые моменты стохастических распределений для модели.

За формирование источника сигнала, параметров систем наблюдений и их визуализацию, отвечает ранее созданный программный блок вычисления времен пробега сейсмических волн, наиболее подходящий для решения нашей задачи моделирования распространения отраженных волн [14].

Проведенные тестовые испытания системы моделирования демонстрируют возможности получения основных характеристик поведения сейсмической волны в системе MOB-OГТ. Результаты стохастического моделирования позволяют выявлять зависимость вертикальных времен пробега отраженных волн от величин задаваемых параметров. В процессе моделирования удается проследить некоторые основные закономерности в формировании системы отражений от нечеткой внутрикоровой границы раздела двух сред. Наибольшее влияние, при прочих постоянных, оказывает разброс глубины залегания отражающей границы, тогда как изменения углов наклона для отражающей границы, даже в относительно широком диапазоне, не оказывает существенного влияния на время пробега. Тем не менее, делать однозначные выводы о влиянии тех или иных параметров, в средах, отличающихся от простых теоретических моделей слоистого пространства, пока не представляется возможным.

Автор выражает благодарность своему руководителю проф. В.Н. Глазневу за постановку задачи и полезное обсуждение результатов исследования.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 19-05-00336.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка. Тверь : АИС, 2006. 586 с.
- 2. Глазнев В. Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. Апатиты : «КаэМ», 2003. 252 с.
- Глазнев В. Н., Кислова Е. Б. Стохастическое моделирование гравитационного поля обусловленного случайной контактной поверхностью // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 43-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского. Воронеж, 2016. С. 54-56.
- 4. Мощность гравиактивного слоя верхней части земной коры Воронежского кристаллического массива по результатам стохастического анализа гравитационного поля / Глазнев В.Н. [и др.] // Материалы 42-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2015. С. 46-48.
- 5. Глазнев В. Н., Муравина О. М., Кислова Е. Б. Стохастическое моделирование потенциальных полей // Материалы XIII Международного семинара «Физикоматематическое моделирование систем». Ред.: И.Л. Батаронов, В.Н. Нечаев, Г.Е. Шунин. Воронеж : ВГТУ, 2014. С. 1-2.
- 6. Глазнев В. Н., Минц М. В., Муравина О. М. Плотностное моделирование земной коры центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестник КРАУНЦ. Сер.: Науки о Земле. 2016. № 1 (29). С. 53-63.
- Геотраверс «Гранит»: Восточно-Европейская платформа Урал Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геологогеофизических исследований) / Ред. Кашубин С. Н. Екатеринбург : ФГУГП «Баженовская геофизическая экспедиция», 2002. 312 с.
- Кислова Е. Б. Информационные технологии анализа результатов МОВ-ОГТ (на примере профиля 1-ЕВ) // Инновационные методики геофизических исследований Материалы ежегодной молодежной научной конф. каф. геофизики ВГУ. Под ред. А.А. Аузина, О.М. Муравиной. Воронеж : ВГУ, 2018. С. 38-45.
- 9. Минц М. В. Сейсмические образы коро-мантийной границы как отражение геодинамики докембрийского корообразования // Геофизические исследования. 2016. Т. 17, № 1. С.65-82.
- Минц М. В., Глазнев В. Н., Муравина О. М., Глубинное строение юго-востока Воронежского кристаллического массива по геофизическим данным: геодинамическая эволюция в палеопротерозое и современное состояние коры // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2017. №4. С. 7-15.
- 11. Объемная модель глубинного строения Свекофеннского аккреционного орогена по данным МОВ-ОГТ, МТЗ и плотностного моделирования / Минц М.В. [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 2. С. 34-61.
- Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсейс в 2 томах / Минц М.В. [и др.]. М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2010. Т. 1. 408 с.; Т. 2. 400 с.
- 13. Муравина О. М. Плотностная модель земной коры Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2016. № 1. С. 108-114.
- 14. Тамахин А. С. Математическое моделирование сейсморазведки методом отраженных волн в программной среде MathCad / В сб.: Современные проблемы и опыт гидрогеологических, инженерно-геологических и эколого-геологических

исследований на территории Центрально-Чернозёмного региона. Материалы региональной научно-практической конференции. Под ред. А.А. Аузина. 2018. С. 164-167.

- 15. Геотрансект Евро-3 / Чекунов А.В. [и др.] // Геофизический журнал, 1993. Т. 15, N 2. С. 3-32.
- 16. Finnish reflection experiment FIRE 2001-2005 / Eds. I.T Kukkonen, R. Lahtinen. Geological Survey of Finland, 2006. Special paper 43. 247 p.
- 17. Complex geological–geophysical 3D model of the crust in the southeastern Fennoscandian Shield: Nature of density layering of the crust and crust–mantle boundary / Glaznev V.N. [et al] // Geodynamics & Tectonophysics. 2015. V. 6. № 2. P. 133-170.
- 18. 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 wide-angle reflection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect / Janik T. [et al] // J. Geoph. Res. 2009. V. 114. B06308. 34 p.
- 19. GGT/SVEKA Working Group. GGT/SVEKA Transect: structure and evolution of the continental crust in the Paleoproterozoic Svecofennian orogen in Finland / Korsman K. [et al]. Int. Geol. Rev. 1999. V. 41. P. 287-333.
- 20. Crustal structure of the Baltic shield along the Pechenga Kostomuksha Lovisa geotraverse / Mitrofanov F.P. [et al] // Int. Geol. Rev. 1998. V. 40, N 11. P. 990-997.

STOCHASTIC MODELING OF CRUST REFLECTIONS FOR THE COMMON-MIDPOINT METHOD

Aleksandr S. Tamakhin Voronezh State University, «OT-OIL», Voronezh, snyyki@gmail.com

Summary. A model of multiple random seismic reflections from deep intracrustal boundaries that do not represent a single consistent interface is considered.

Key words: seismic reflection method, stochastic environment model

УДК 550.36 СИСТЕМЫ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СКВАЖИН

Халилов Дамир Газинурович OAO «КНГФ», г. Когалым adskiykrevetko@yandex.ru

Аннотация. Мониторинг состояния различных видов объектов успешно осуществляется, в частности, при помощи аппаратуры, имеющей в своем составе датчики температуры. Каждая модель обладает определенными преимуществами и недостатками. Волоконно-оптические системы позволяют проводить наблюдения на больших расстояниях, но страдают от возрастающих помех. Системы электрического типа наоборот захватывают относительно малый участок среды, обеспечивая единую погрешность во всех пунктах наблюдения. Выбор исследователя целиком обуславливается свойствами изучаемого объекта. При этом мы жертвуем либо погрешностью измерения, либо пространственным диапазоном. Дан-

ный факт вызывает необходимость в развитии аппаратуры путем синтеза преимуществ определенных систем в одной модели. Ключевые слова: мониторинг, оптоволокно, тепловой поток, термокоса.

Мониторинг состояния промышленных, гражданских и иных видов объектов является актуальным направлением для прикладных наук, в том числе и для геофизики. Аппаратурный ряд в данном направлении насчитывает множество технических воплощений, нацеленных на изучение физических полей Земли: сейсмического, радиационного, температурного и т.д. Важным фактором, значительно влияющим на итоговый выбор в пользу той или иной аппаратуры, являются условия, определяемые спецификой объекта изучения. Ввиду того, что показатели температурного поля, опираясь на физические законы, способны качественным и количественным образом отразить протекание множественных процессов в изучаемой среде, системы термометрического типа представляют собой ценный инструмент контроля. Каждой разновидности применяемой аппаратуры свойственны определенные достоинства и недостатки, связанные, в основном, с особенностями приема, получения и передачи информации. В конкретном случае производится сравнение волоконно-оптических и электрических разновидностей измерительных систем.

Значительную популярность, в частности на нефтяных месторождениях Пермского края, приобрели волоконно-оптические системы в качестве средства контроля работы глубинных насосов (пример на рис.1), состояния трубопроводов, изучения температурного поля скважин, в том числе при прострелочно-взрывных работах. Одной из причин того являются превосходящие количественные показатели информационного канала: скорость передачи данных, длина линии связи (охват пространства). Оператор наблюдает температурное поле в режиме реального времени и производит регистрацию данных с шагом осреднения, варьирующим в зависимости от особенностей изучаемой аномалии.



Рис. 1. Мониторинг работы электрического центробежного насоса

Измерения температуры осуществляются путем регистрации спектральных компонент обратного сигнала, распространяемого по телу оптоволокна лазерным источником излучения. Состав компонент зависит от изменений в кристаллической решетке волокна, что дает нам доступ к дополнительным данным о среде, помимо температуры (давление, шум). Дальность передачи сигнала достигает 5 км для многомодовых и около 100 км для одномодовых волокон. Оптические волокна ввиду хрупкости монтируются в кабельные изделия различными способами: в качестве жил брони, вместо токопроводящих жил, в тело полимерного заполнителя и т.п.

Исключительным преимуществом волоконно-оптических систем является возможность осуществления наблюдений в скважинной среде при спущенном глубинном оборудовании. Особенность данных условий заключается в крайней проблематичности доступадля стандартных систем измерения в интервалы ниже насосной установки и в межтрубное пространство. Таким образом, единственным достоверным датчиком, имеющим непосредственный контакт с источниками теплового поля на всем протяжении скважины, выступает оптоволокно [5].



Проблема оптоволоконных систем состоит в возрастании соотношения помеха/сигнал и затухании импульсов по мере удаления точки отражения от источника лазерного сигнала (рис. 2). Это вызывает необходимость в последовательном увеличении времени накопления информации для получения адекватных данных. Тенденция накопления полезного сигнала обуславливается уравнениями, отражающими сущность динамического среднеквадратичного диапазона сигнала. Данная величина в регистрирующих системах определяется практически при следующих условиях: время осреднения сигнала – 3 мин; длительность импульса – 10 мкс; длина волокна – 25 км.

$$D_{rms}=\frac{p_{H}-\eta+q-p_{\Pi p}+b}{2},$$

где D_{rms} – динамический среднеквадратичный диапазон лазерного сигнала, дБ; p_{μ} – мощность источника излучения, дБм; η – потери в ответвителе, дБ; q – коэффициент обратного рэлеевского рассеяния дБ; p_{np} – пороговая чувствительность фотоприемника, дБм; b – выигрыш, дБ.

$$b = 10 \cdot \log \sqrt{N} = 5 \cdot \log \frac{t \cdot (1-f)}{T},$$

где N – количество зарегистрированных импульсов; t – время осреднения, c; f – доля времени на системный расчет, д.ед.; T – период следования импульсов, c [2].

Мониторинговые системы электрического типа не получили значительного распространения в области ГИРС, однако с некоторыми видами данной аппаратуры про-

водились опытные работы. В свое время был создан скважинный вариант термической косы – гибкого прибора, имеющего в своем составе ограниченное число датчиков температуры, каждый из которых последовательно расположен друг за другом на определенном удалении. При этом датчики отдельно взятой косы имеют численно равную погрешность измерения.

В настоящее время разработкой и производством термических кос успешно занимается предприятие АО «НПП Эталон». Аппаратура представляет собой многозонный цифровой датчик температуры (МЦДТ), косу (рис. 3) длиной около 120 м, оборудованную термоэлектрическими преобразователями, расположенными поочередно друг от друга на постоянном шаге (обычно 0.5 м). Точность измерений зависит главным образом от технических характеристик преобразователя. Погрешность измерений температуры в диапазоне от +30 до +100°С составляет от ±0.1 до ±0.2°С, время температурной инерции составляет 25 с. Изделие выполняется в различных вариантах, свойственных условиям применения. Запись и последующее считывание информации производится при помощи специальных устройств, логгеров. Новые модели кос оснащены радиопередатчиками, модемами, осуществляющими передачу данных в реальном времени в радиусе 200-300 м [1].



Рис. 3. Термокоса МЦДТ 0922 и логгер ЛЦД-1/100-РМ

Ярким примером практического применения термокос служит производственный опыт компании ООО «Газпром добыча Надым». С 2014 г. специалистами службы геотехнического мониторинга инженерно-технического центра данной компании применяется в скважинах малой глубины термометрическое оборудование производства АО «НПП "Эталон"» для контроля температуры грунтов оснований объектов газопромысловой инфраструктуры. Причиной создания значительно развернутых сетей наблюдения в пределах объектов компании является опасная специфика разреза северных широт. Наличие в составе грунта многолетнемерзлых пород, подвергаемых различным температурным воздействиям, неизбежно приводит к трансформациям: образованию термокарста, термоэрозии, морозному пучению и т.д. Таким образом, в зоне поражения оказываются здания и сооружения, обладающие разной устойчивостью к данным явлениям.

К настоящему времени на объектах газоконденсатных месторождений общества (Бованенковское, Юбилейное, Медвежье) используется порядка 150 комплектов радиоканального термометрического оборудования в составе термометрических кос МЦДТ и логгеров ЛЦД – 1/100 PM, а также порядка 90 термометрических кос МЦДТ, используемых в режиме периодического опроса с контроллера ПКЦД [3].

Кроме того, АО «НПП "Эталон"» развивает применение датчиков плотности теплового потока (рис. 4), получивших широкое применение в сфере энергоснабжения. Измерения производятся по принципу термопары. Датчики позволяют регистрировать тепловой поток и поверхностную плотность теплового потока, сопровождающего раз-

личные физические и биологические процессы, что выводит интерпретационные возможности метода термометрии на иной уровень.



Рис. 4. Датчики плотности теплового потока ДТП 0924-Э-Д-60-0 (слева) и ДТП 0924-Р-П-210-210-0

Основным минусом в эксплуатации термокос является пространственная ограниченность прибора. Зона изучения имеет предел длины, в который должен попадать интересующий нас объект, а процессы, происходящие вне досягаемости линии датчиков, могут быть зарегистрированы только после перемещения косы. Расширение зоны датчиков ограничено максимальным значением шага, позволяющим разумно производить профилирование, получая согласованные воедино и пригодные для интерпретации данные.

Изучение особенностей вышеупомянутых систем вызывает вопрос о методической ограниченности аппаратуры в подходе к изучению среды. Системы, использующие для интерпретации лишь температуру, обречены на потерю важных локальных особенностей и адекватности динамических параметров изучаемого поля. Непосредственный учет особенностей процессов теплопередачи в среде и привлечение дополнительной информации заметно способствуют конкретизации решения обратной задачи, но не обеспечивают необходимого приближения к сущности протекающих процессов.

Наличие определенных преимуществ у систем, являющихся альтернативой оптоволоконным, ведет к предположению о том, что вторые способны расширить свои возможности в изучении среды. Направление развития, по мнению автора, связанно с выходом нарегистрацию теплового потока и его плотности без внесения внешних конструкционных изменений. Практически, решение достижимо путем оборудования кабеля дополнительными волоконно-оптическими датчиками, удаленными друг от друга на известное расстояние в пределах теплопроводящего слоя (рис. 5). В результате, основываясь на простом принципе теплопередачи через стенку, одновременная регистрация температуры по нескольким каналам с привлечением промежуточных зависимостей обеспечит выход на динамику среды. Экспериментальное подтверждение данного решения окончательно должно выделить границы возможностей модификации метода и задать корректировки для создания конечного варианта опытного образца изделия.

$$\mathbf{q}_{n} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (\mathbf{t}_{c1} - \mathbf{t}_{c2}),$$

где q – плотность теплового потока, Bt/m^2 ; t_{c1} , t_{c2} – температура внешней (1) и внутренней (2) стенки слоя, °C; λ – коэффициент теплопроводности слоя, $Bt/M^{\circ}K$; δ – толщина слоя, м [4].



Рис. 5. Передача тепла через плоскую стенку

Исключительность, присущая определенным системам, применяемым для мониторинга, не должна являться причиной, замедляющей их качественное развитие. Наращивание методического инструментария способствует не только улучшению качества контроля состояния объектов, но и экономии производственных ресурсов, сводящейся к отмене лишних технологических операций и мобилизации меньшего количества рабочего персонала. Не пропадает также актуальность комплексирования разнородными методами путем оснащения измерительной аппаратуры соответствующими датчиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Воронин Е. Л., Пугач В. Н. Преобразователь интеллектуальный с радиомодемом (ПИ РМ) // Автоматизация и IT в энергетике. 2017. № 9 (98). С. 30-33.
- 2. Листвин А. В., Листвин В. Н. Рефлектометрия оптических волокон. М. : Издательство «ЛЕСАРарт», 2005. 208 с.
- 3. Опыт эксплуатации и перспективы развития систем мониторинга температуры вечномерзлых грунтов / Пугач В.Н., Кропачев Д.Ю. [и др.] // Автоматизация и IT в нефтегазовой области. 2018. № 1 (31). С. 28-34.
- 4. Скрябин В. И. Курс лекций по теплотехнике. М. : МФТИ, 2000. 82 с.
- 5. Халилов Д. Г. Применение оптоволоконных технологий в скважинной геофизике // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Первой Всесоюзной геофизической конференции / гл. ред. В.И. Костицын. Пермь : ПГНИУ, 2017. С. 208-212.

THE SYSTEMS OF WELL THERMOMETRICAL MONITORING

Damir G. Khalilov JSC Kogalymneftegeophisica, Kogalym adskiykrevetko@yandex.ru

Summary. Monitoring of status of various types of objects is successfully carried out, in particular, with a help of equipment that has temperature sensors in

its composition. Each model has certain advantages and disadvantages. Optic fiber systems allow carrying out long-range observations, but suffering from increasing noises. Electric type systems, in contrast, capture a relatively small area of the medium, providing a single noise level at all points of observation. Choice of researcher is fully determined by the properties of object under study. In doing so, we sacrifice either the measurement error or the spatial range. This fact makes it necessary to develop equipment by the synthesizing the advantages of certain systems in the one model.

Keywords: heatflow, monitoring, optical fiber, thermal braid.

УДК 551.3:550.3 (575.1) ОБРАБОТКА ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ПЛОТИНЕ ГИССАРАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич, Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова, г. Ташкент, Узбекистан hayrulla_classic@mail.ru

Аннотация. В работе изложены результаты обработки записей землетрясений, полученных с помощью системы мониторинга на плотине Гиссаракского водохранилища. По проведенным циклам измерений для сейсмометрических измерений на теле плотины использовались два комплекта временных сейсмических станций с трехкомпонентными сейсмометрами. По результатам метода HVSR определены скорости поперечной волны *Vs*, коэффициенты сейсмического разжижения грунтов K_L и приращения балльности ΔJ .

Ключевые слова: запись, землетрясение, сейсмические волны, зоны отражения, массив, плотина, разжижение, грунт, приращение, балльность.

Совершенствование системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ, исследования влияния техногенных факторов от строительства водохранилищ требуют выполнения большого объема наблюдений [1, 2]. Для оценки устойчивости эксплуатации таких сооружений на фоне естественных и техногенных сейсмических процессов необходимо получить более глубокие научные знания о механизмах колебаний горных массивов в зонах водохранилищ. Основной целью данной работы является определение уровней колебания низкоскоростных слоев плотины и береговых склонов по результатам обработки записей землетрясений, полученных с помощью системы мониторинга на плотине Гиссаракского водохранилища. Поэтому нами была организована цифровая регистрация сейсмических волн временными станциями как части локальных сейсмометрических наблюдениий проведимых в зоне плотины и береговых склонов Гиссаракского водохранилища. Временные станции оборудованы высокочувствительными сейсмографами для записи местных и близких землетрясений типа СКМ-3 и СМ-3 с величиной усиления каналов от 10000 в зависимости от фона помех 1-го рода [3]. Тестирование измерительных пунктов сейсмических станций проведено в трехкомпонентном режиме. В состав рабочей сейсмической станции входили 16разрядный автоматический цифровой преобразователь "ELIOS", GPS-приемник "Garmin- ELIOS ", UPS "NOVA 600AVR" и промышленный компьютер EBS-1363 [3].



Рис. 1. Схема расположения пунктов регистрации

Выбор мест для сейсмометрических измерений производился на основе эксплуатационной рабочей схемы цифровой инженерно-сейсмометрической системы записи волн с использованием карты инженерно-геологического районирования ближней зоны плотины [3]. Один комплект аппаратуры использовался в качестве опорной станции (на рис. 1 обозначен как "station" измерительный пункт №8), расположенной в 1.2 км от основания плотины. Для изучения оценки динамических смещений использовался метод HVSR [4]. Определение параметров колебания массивов и грунтов на теле плотины Гиссарак выполнялось несколькими методами: по записям слабых далеких землетрясений и по записям микросейсм через изучение спектральных характеристик грунтов [5, 6].

Для сейсмометрических измерений на теле плотины использовались два комплекта временных сейсмических станций с трехкомпонентными сейсмометрами [6].

В пункте ИТ №8 (Гидропост), распооженном на основании плотины, для регистрации сипользовались параметры региональных станций. Частотная характеристика сейсмометров – равномерная в диапазоне 1.0-40.0 Гц. Чувствительность сейсмометров остальных пунктов приведена ниже.

<u>Сейсмометр №: 0482 (ИТ №2)</u>	
Компонента Вертикальная, Z	-1.1285е ⁻⁸ м/с,
Компонента Восток-Запад, EW	- 1.4732е ⁻⁸ м/с,
Компонента Север-Юг, NS	-1.8437е ⁻⁸ м/с.
<u>Сейсмометр №: 0470 (ИТ №4)</u>	
Компонента Вертикальная, Z	-1.1272е ⁻⁸ м/с,
Компонента Восток-Запад, EW	-1.4372е ⁻⁸ м/с,
Компонента Север-Юг, NS	-1.8332е ⁻⁸ м/с.

Измерения проводились на гребне плотины и на двух нижеследующих бермах (рис. 1).

По результатам расчетов методом HVSR составлена табл. 1, в которую включены глубины отражающих границ, скорости V_s в граничащем слое и коэффициенты сейсмического разжижжения грунтов K_L [5, 6].

Таблица 1

Глубины отражающих границ, скорости V _s в указанном слое и коэффициенты
сейсмического разжижения грунтов

	ссисми ческого разжижения груптов								
NºNº	F1, Гц	HV	Н, м	Vs, м/с	F2, Гц	HV	Н, м	Vs, м/с	
2	9.04	1.68	14.47	523.23	3.44	2.30	41.08	565.27	
4	7.45	2.79	17.83	531.39	4.60	2.53	30.01	552.28	
8	5.30	3.00	25.75	546.06	3.16	3.56	45.03	569.12	

Приращение балльности, рассчитанное по уравнению $\Delta J=2*lg(A_2/A_1)$, представлено в табл. 2.

Таблица	2
---------	---

f, Гц	ИТ8	ИТ4	ИТ2	среднее]	f, Гц	ИТ8	ИТ4	ИТ2	среднее
0.250	0.21	0.57	1.55	0.39		3.003	0.93	0.79	0.91	0.96
0.500	0.30	0.70	1.66	0.86		3.253	1.92	2.46	1.31	2.58
0.751	0.78	0.80	2.02	1.69		3.503	2.47	2.57	2.50	2.98
1.001	1.48	2.11	2.42	1.93		3.754	1.78	1.98	2.07	2.13
1.251	0.05	0.74	1.60	0.29		4.010	1.01	0.63	1.14	-1.16
1.501	0.96	1.50	1.60	1.09		4.254	2.18	3.21	2.53	3.25
1.752	1.28	1.92	2.18	2.35		4.504	1.03	2.11	0.39	2.51
2.002	1.67	3.12	2.71	1.71		4.510	2.91	3.48	2.88	3.18
2.252	2.01	3.91	3.25	2.09		4.750	-0.62	1.22	0.23	-0.51
2.502	1.22	2.83	1.46	1.11]	5.000	1.89	2.37	0.97	1.48

Приращение балльности *ДЈ* при землетрясении

Далее в табл. 3 представлены основные резонансные частоты в пунктах регистрации.

Таблица 3

`			U
сновные резонянсны	Р ИЯСТАТЫ В ПУНКТЯХ	пегистпянии	сеисмических волн
chodindic pesonanendi	C IACIVIDI D IIYIIKIAA	регистрации	CORCERNM ICCNMA DUMI

£	Пункты регистрации						
Jo	ИТ2	ИТ4	ИТ8				
Вдоль тела плотины	3.87	2.37	1.59				
Поперек тела плотины	4.54	2.45	2.70				
Вертикальная компонента	7.31	4.46	2.54				

По данным HVSR составлена табл. 4, куда включены глубины отражающих границ H, скорости поперечных волн Vs, коэффициенты сейсмического разжижения грунтов K_L и приращение балльности ΔJ [2, 6].

Таблица 4

Глубина отражающих границ, поперечная волна Vs, коэффициент сейсмического разжижжения грунтов K_I и приращение балльности ΔJ по данным HVSR.

№ пункта регистрации	<i>Fo</i> , Гц	HVSR	<i>Н</i> , м	Vs, m/c	<i>∆Ј</i> , баллы
2 гребень	1.68	2.25	89.1	598.6	1.3
4 берма	2.18	6.41	67.2	686.3	1.18
8 основание	3.56	6.22	39.6	763.7	0.8
Шабада нестационарный	3.12	6.34	0	1123	0

Тестовая оценка распределения Vs по телу плотины (рис. 1) показала, насколько центральная часть плотины оказалась в зоне касательных напряжений (рис. 2). Расчеты показали, что центральная часть плотины имеет более контрастные изменения коэффициента сейсмического разжижения K_L , чем периферийная (рис. 3). Далее построена картина распределения приращения балльности ΔJ по высоте плотины [6].



Рис. 2. Распределение скоростей Vs по телу плотины



Рис. 3. Распределение коэффициента сейсмического разжижения грунтов К_L

Приращение балльности при высокочастотных колебаниях тела имеет достаточно высокое значение в четырех предгребневых участках. Ниже первой верхней бермы она падает до уровня в ИП № 8 (Гидропост). Амплитудно-частотные характеристики сейсмометрических каналов станции определены параметрами сейсмодатчиков – чувствительностями рабочих катушек и постоянными: периодом собственных колебаний и затуханием сейсмоприемников, которые выбраны в зависимости от фона помех и возможностей аппаратуры. Переопределение постоянных, настройка на заданных величинах периодов и затуханий проводились поэтапно при калибровке каналов.

В 2013 и 2018 г. четыре станции были перемонтированы: одна в ближней зоне плотины Гиссаракского водохранилища, другая станция - в тоннеле, еще одна - в центральной части второй бермы. Ниже в табл. 5 показаны пороги обнаружения полезного сигнала для сейсмометрических каналов станций в сравнении с другими, включая дату открытия станций в различных пунктах наблюдения.

Таблица 5

Пункт	Кол	Дата открытия	Дата	Пор	оги обнаруж	ения				
наблюдения	Код	станции	переноса	N-S, мВ	E-W, мВ	Z, мВ				
Тупаланг	TPL	23.06.2009	15.06.2018	12.0	0.33	0.22				
Зарабаг	ZRB	21.04.2008	16.06.2018	0.23	0.23	0.14				
Пачкамар	PCH	22.11.2007	14.06.2018	5.1	5.3	0.22				
Гиссарак	GSA	20.05.2009	16.06.2018	7.3	2.2	0.3				

Пороги обнаружения полезного сигнала для сейсмометрических каналов цифровых станций СРС КМ/V-F

Для каждого сейсмометрического канала станции также вычислены пороги обнаружения в мВ, превышение которых при действии сейсмических колебаний переводит станцию СРС из ждущего режима в режим «запись землетрясения».
И, как показывает практика, особенно важно – с целью повышения эффективности (результативности) функционирования станций – проведен дополнительный анализ всех автоматических включений «на запись», связанных с естественным сейсмическим фоном и искусственными помехами производственно-хозяйственного характера.

Проведенный в 2017 и 2018 г. анализ цифровых сейсмограмм показал, что группа станций СРС КМ/V-F «Гиссарак» после совершенствования системы обеспечила нормальный режим работы, то есть при заданных порогах обнаружения были корректно зарегистрированы все сейсмические события на объекте.

Представленные графики частот, полученные по нескольким зарегистрированным сейсмическим событиям, и отношения амплитуд измеренных колебаний к амплитудам колебаний основания плотин показали, что при регистрации разных землетрясений в разных точках они сильно изменяются в зависимости от азимута к эпицентру.

Работа поддержана грантами № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115 Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. / Под. ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн.2. Микросейсмичность. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. 96 с.
- Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface // Quart. Rep. of RTRI. 1989. Vol. 30. №.1. P. 25-33.
- 3. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность / Хамидов Л.А. [и др.] // Доклады АН РУз. 2018. №2. С.74-79.
- 4. Хамидов Л. А., Артиков Ф. Р., Хамидов Х. Л. Возможности организации слежения местной сейсмичности в ближних зонах водохранилищ Узбекистана // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Девятые научные чтения Ю.П. Булашевича. Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2017. С.426-430.
- 5. Хамидов Х. Л. Собственные колебания плотины Гиссаракского водохранилища. // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Х Международная конференция молодых ученых и студентов. Бишкек, 2018. С.243-244.
- Хамидов Х. Л. Сейсмические колебания плотины Гиссаракского водохранилища. // XXI век – век интеллектуальной молодежи. Тр. Республиканской научной и научно-технической конференции. Ташкент : АН РУз, 2018. С.162-163.

PROCESSING OF EARTHQUAKE RECORDS OBTAINED WITH MONITORING SYSTEM ON THE DAM OF GISSARAX WATER RESERVOIR

Khairulla L. Khamidov Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Tashkent, Uzbekistan hayrulla_classic@mail.ru

Summary. The paper presents the results of processing of earthquake data recorded by monitoring system at the dam of the Gissarak reservoir. According to conducted measurement cycles on the dam body, two sets of temporary seismic stations with three-component seismometers were used. According to the *HVSR* data, the transverse wave velocity Vs, the seismic dilution factor of soils K_L and the increment of the ΔJ scaling are determined.

Key words: recording, earthquake, seismic waves, reflection zones, massif, dam, liquefaction, soil, increment, magnitude.

УДК 550.34.013.2

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ МИКРОСЕЙСМИЧСЕКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА ПОРОД ПРИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Чернобров Дмитрий Сергеевич, Каган Михаил Моисеевич ГОИ КНЦ РАН, г. Апатиты dchernobrov@goi.kolasc.net.ru

Аннотация. Важным условием безопасного ведения горных работ на рудниках является оперативная информация о состоянии пород разрабатываемого массива. В настоящей работе анализируется накопленный авторами опыт интерпретации данных микросейсмического мониторинга применительно к оценке устойчивости бортов открытых рудников. Ключевые слова: сейсмика, мониторинг, карьер, борт, напряжение, деформации.

Микросейсмический мониторинг на сегодняшний день имеет широкое применение на ряде предприятий, ведущих открытые горные работы в Австралии, Канаде, Намибии и ЮАР [4]. В опубликованных работах на эту тему делаются выводы, что микросейсмический мониторинг не следует рассматривать как средство объявления тревоги неустойчивого состояния пород бортов, а скорее как инструмент, позволяющий понять закономерности деформирования исследуемого массива, и что интерпретируемые в механических терминах результаты обработки материалов сейсмологических наблюдений на карьерах имеют большие перспективы в плане комплексирования с данными других геотехнических методов, к примеру, маркшейдерскими наблюдениями или геомеханическими расчетами [3]. Еще один вариант использования сейсмических данных предполагает непосредственное использование очаговых параметров сейсмиче ских событий (актов микроразрушения) в геомеханических расчетах. В настоящей работе анализируется накопленный авторами опыт интерпретации данных микросейсмического мониторинга применительно к оценке состояния прибортового массива пород при открытых горных работах.

Подходы к анализу данных микросейсмического мониторинга массива пород бортов карьеров.

Параметры сейсмической эмиссии имеют существенную зависимость от физикомеханических и геологических свойств пород, слагающих прибортовой массив карьеров, что существенно усложняет интерпретацию микросейсмических данных, поэтому сложно говорить об универсальной методике интерпретации результатов сейсмического мониторинга в терминах оценки устойчивости бортов карьеров. Такая методика может быть создана в результате опытной эксплуатации системы сейсмического мониторинга на конкретных рудниках. На основе накопленного опыта эксплуатации такого рода систем, в частности, на карьере рудника «Железный» Ковдорского ГОКа, система мониторинга которого охватывает порядка 50 % площади карьера, можно наметить общие принципы построения такой методики. Общая схема следующая:

1. Выявление мощных событий, приуроченных к бортам карьера.

2. Пространственное районирование очагов сейсмических событий, выявление зон повышенной сейсмоактивности.

3. Анализ пространственного расположения выявленных сейсмоактивных зон относительно глубины до поверхности, фронта горных работ, имеющихся известных структурных нарушений массива пород.

4. Определение характера сейсмоактивности по пространственно-временному распределению параметров очагов сейсмособытий в зонах. Ранжирование выделенных зон по степени влияния на устойчивость бортов карьера.

5. Соотнесение полученных результатов с хронологически более ранними результатами анализа, выполнение заключения о состоянии прибортового массива с точки зрения возможности потери устойчивости борта по данным регистрации сейсмической эмиссии.

Далее рассмотрим вышеприведенные подходы подробнее.

Выявление мощных событий, приуроченных к бортам карьера.

К мощным сейсмическим событиям могут быть отнесены такие, линейные размеры очага которых сопоставимы с характерными размерами элементов, представляющих борт карьера (высота уступов, ширина берм т.п.). Однако далеко не всегда удается из сейсмологических записей достоверно восстановить размер очагов. В таких случаях в качестве оценочного фактора могут использоваться излученная сейсмическая энергия сейсмособытий, сейсмический момент, магнитуда Выявление мощных сейсмических событий является задачей реального времени и должно выполняться максимально оперативно, что достигается в процессе функционирования системы сейсмического мониторинга.

Пространственное районирование очагов сейсмических событий, выявление зон повышенной сейсмоактивности.

Микросейсмический мониторинг способен прояснить, является ли какая-либо конкретная известная геологическая структура сейсмически активной или нет. Если очаги большого числа сейсмических событий расположены на самой структуре или вблизи нее, тогда вероятно, что по данной структуре происходит проскальзывание [2].

Пространственное районирование очагов сейсмических событий производится на интервалах времени, достаточных для регистрации статистически значимого для анализа числа событий. Этот период определяется чувствительностью сейсмической системы и интенсивностью сейсмической эмиссии в каждом конкретном случае. Пространственное районирование осуществляется за счет визуального просмотра распределения сейсмособытий в 3-х мерном пространстве. Возьмем для примера пространственное распределение очагов сейсмособытий в карьере рудника «Железный» Ковдорского ГОКа. Анализ выявил наличие четырех устойчивых сейсмоактивных зон (рисунок 1).

Кроме того, районирование эффективно реализуется с помощью кластерного анализа распределения очагов сейсмособытий в 3-мерном пространстве. Из многочисленных методов кластерного анализа, по нашему мнению, в данном случае наиболее точно отвечает физической природе кластеризуемого объекта метод иерархической кластеризации по минимальному расстоянию до объектов в качестве целевой функции, т.к. данный метод не накладывает никаких ограничений на форму выделяемых кластеров [1]. Определение характера сейсмоактивности по пространственно-временному распределению параметров очагов сейсмособытий в зонах. Ранжирование выделенных зон по степени влияния на устойчивость бортов карьера.

Характер сейсмической эмиссии массива пород в зависимости от природы может быть отнесен к одному из трех типов:

1. Сейсмическая эмиссия в результате хрупкого разрушения сплошного массива под воздействием постоянно действующих напряжений.

Такой тип сейсмической эмиссии характеризуется, как правило, в виде квазистационарного потока событий с устойчивым графиком повторяемости. Для этого типа событий характерным является наличие форшоковой активности, предваряющей мощные сейсмические события.

2. Сейсмическая эмиссия как результат изменения напряженного состояния массива под внешним (техногенным) воздействием.

Сейсмическая эмиссия второго типа в карьерах встречается в зонах активных горных работ. Характер ведения горных работ оказывает влияние на интенсивность трещинообразования в породах борта. Путем сопоставления уровней сейсмической активности можно ранжировать виды (взрывание или отбор породы) и места ведения горных работ по степени воздействия на исследуемый объем пород и в дальнейшем учитывать эту информацию при планировании дальнейших работ.

Типичным примером сейсмоактивной зоны такого типа является устойчивая зона повышенной сейсмоактивности, приуроченная к дну карьера рудника «Железный» (зона 3, рисунок 1).



Рис. 1. Зоны концентрации сейсмических событий в прибортовом массиве карьера рудника «Железный» Ковдорский ГОК

3. Сейсмическая эмиссия, вызванная локальными изменениями на активных геологических структурах.

Данный тип сейсмической эмиссии, если она наблюдается в зонах, приуроченных к борту карьера, является наиболее информативным с точки зрения оценки состояния бортов. Если очаги большого числа сейсмических событий расположены на самой структуре или вблизи нее, тогда вероятно, что по данной структуре происходит проскальзывание. Определенные по сейсмическим событиям плоскости ослабления могут также указывать на ранее неизвестные геологические структуры, которые впоследствии могут быть подтверждены другими геотехническими методами.

Анализ пространственного расположения выявленных сейсмоактивных зон относительно глубины до поверхности, фронта горных работ, имеющихся известных структурных нарушений массива пород.

Для сейсмических данных рудника «Железный» Был проведен анализ такого рода закономерностей.

Типичным представителем данного типа сейсмической эмиссии является зона 4 на рисунке 1, сформировавшаяся в области структурных нарушений на борту карьера. Характерным для этого участка массива является то, что события здесь имеют тенденцию к группировке в виде плоской структуры, приуроченной к борту карьера, изменяющей свое положение с течением времени. На рисунке 2 отражено положение этой структуры в различные периоды. На этом же рисунке показаны усредненные направления осей сжатия и растяжения, восстановленные по сейсмограммам, в предположении разрушения в очагах под действием сдвиговых напряжений.



Рис. 2. Распределения сейсмических событий и направления преобладающих напряжений в юго-восточной части карьера по данным микросейсмического мониторинга (данные 2010-2012 гг.)

Из приведенных данных можно сказать, что ось сжимающих напряжений в течение трех лет оставалась практически вертикальной, в то время как направление оси растяжения существенно изменялось от перпендикулярного борту карьера в 2010 г. к горизонтальному в 2012 году. Полученные данные дают основание предположить, что механизм трещинообразования претерпел существенные изменения. В 2010 г. трещинообразование связано, возможно, с раскрытием нарушения сплошности в массиве пород под действием растягивающих напряжений, направленных нормально борту карьера. В 2012 г. трещины образовывались за счет сдвига под действием касательных напряжений, действующих в направлении параллельном борту карьера.

Соотнесение полученных результатов с хронологически более ранними результатами исследований.

На рисунке 3 отражено положение выявленной плоскости концентрации очагов сейсмических событий относительно известного по данным геологоразведки структурного нарушения. Можно видеть, что если в 2010 г. плоскость распределения сейсмособытий располагалась под углом порядка 20 градусов к горизонту и подсекала имеющуюся систему выявленных структурных нарушений в борту карьера, то в 2012 г. она стала практически параллельной имеющимся трещинам и на сегодняшний день находится существенно глубже от поверхности.



1 – зона локализации сейсмических событий 2010 г.; 2 – зона локализации сейсмических событий 2012 г.; 3 – зона ослабления по данным геологической службы; /// – контуры разломов по результатам бурения геологических скважин Рис. 3. Расположение зоны концентрации сейсмических событий относительно структурных нарушений массива пород в ослабленной зоне юго-восточного борта карьера

Процесс трещинообразования развивается на достаточной глубине от поверхности, а направление роста трещин таково, что можно говорить об отсутствии опасности их выхода на свободную поверхность при существующем положении контура карьера. Данные сейсмического мониторинга по результатам наблюдений в 2012 г. дают основания говорить о текущем устойчивом состоянии ослабленной зоны. Вместе с тем, ввиду наличия зафиксированных динамических процессов трещинообразования, не исключено их опасное влияние на устойчивость уступов после их формирования на проектном конечном контуре карьера.

Результаты сейсмического мониторинга в данной зоне отражают динамику процесса формирования структурной нарушенности массива, что позволяет делать выводы относительно устойчивости борта карьера на данном участке.

Таким образом, соотнесение полученных результатов с хронологически более ранними результатами исследований массива могут помочь в выполнении заключения о состоянии прибортового массива пород с точки зрения возможности потери устойчивости борта по данным регистрации сейсмической эмиссии.

Заключение

Использование результатов сейсмического мониторинга в целях оценки устойчивости бортов карьеров основано, в первую очередь, на пространственном районировании очагов сейсмических событий и выявлении зон с характерным пространственновременным распределением параметров очагов.

Ранжирование выделенных зон по степени влияния на устойчивость бортов карьера должно выполняться на основе их пространственного расположения относительно бортов карьера и имеющихся геологических структур.

Оценка возможности потери устойчивости бортов карьера в выделенных зонах обеспечивается интегральными энергетическими оценками параметров сейсмической эмиссии в них и динамикой в пространственном распределении сейсмособытий за счет развития деформационных процессов в прибортовом массиве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Каган М. М., Чернобров Д. С. Пространственная кластеризация сейсмоактивности в прибортовой зоне карьера (на примере рудника "Железный" Ковдорского ГОКа) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S56. С. 247-253.
- 2. Маловичко Д. А., Линч Р. Э. Микросейсмический мониторинг бортов карьеров // Горное эхо. 2006. №2(24). С.21-30.
- 3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М. : Недра, 1965. 380 с.
- 4. Wesseloo J., Sweby G. J., Microseismic Monitoring of Hard Rock Mine Slopes // Proceedings of the The Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium (SHIRMS 2008). Vol.1. Perth, 2008. P. 433-450.

METHOD OF MICROSEISMIC MONITORING DATA ANALYSIS FOR ESTIMATING THE STATE OF ROCK MASSIF OF OPEN PITS

Dmitrii S. Chernobrov, Mikhail M. Kagan MI KSC RAS, Apatity dchernobrov@goi.kolasc.net.ru

Summary. Operative information about the rocks massif state is important requirement for safe mining. The paper analyzes the experience gained by authors in interpreting microseismic monitoring data as applied to the assessment of the open mine slopes stability.

Key words: seismicity, open pit, monitoring, stresses, deformations.

УДК. 550.348.098.32 (574.3) **МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ САРЕЗСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7** ДЕКАБРЯ 2015 ГОДА С К=17.0, М=7.2, І₀=7-8 (ПАМИР, ТАДЖИКИСТАН)

Джураев Рахимджон Усмонович, Аламов Бехруз Ахмадшоевич, Байгенов Дамир Фарухович Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии Наук Республики Таджикистан dhuraev52@mail.ru, behruz.beh@mail.ru, baigenov87@mail.ru

Аннотация. В работе изложены результаты макросейсмического обследования разрушительного Сарезкого землетрясения 7 декабря 2015 года, произошедшего на территории Таджикистана. Землетрясением был нанесен значительный материальный ущерб населенным пунктам Рушанского, Шугнанского и Ванчского районов (Памир) Таджикистана. Сравнение последствий двух Сарезских землетрясений 1911 и 2015 г. показало их идентичность. По характеру проявления на поверхности эти два сейсмических события почти одинаковы, что свидетельствует о совпадении механизмов и глубин очагов.

Ключевые слова: землетрясение, афтершок, магнитуда, Сарезкое озеро, интенсивность землетрясения.

7 декабря 2015 года в 12 часов 50 мин местного времени (7:50 по Гринвичу) на территории Таджикистана произошло сильное землетрясение с К=17.0, М=7.2, I₀=8 [1] Землетрясением был нанесен значительный материальный ущерб населенным пунктам Рушанского, Шугнанского и Ванчского районов (Памир) Таджикистана. В общей сложности было повреждено и разрушено более 500 домов, пострадало 16 человек, 3 из них погибли.

По данным Геофизической службы Академии наук Таджикистана эпицентр землетрясения находился в южной части озера Сарез ($\varphi=38^{0}08'$, $\lambda=72^{0}31.5'$), в устьевой части Ирхтского залива (рис 1). По данным международной сети USGS эпицентр этого подземного толчка определен севернее озера Сарез ($\varphi=38^{\circ}17'$, $\lambda=72^{\circ}46'$) в южных отрогах Музкольского хребта (рис.1). Гипоцентр данного подземного толчка находился на глубине 30-40 км. На рис. 2. представлены сейсмограммы Сарезского землетрясения, записанные цифровыми сейсмическими станциями Геофизической службы АН Республики Таджикистан. По макросейсмическим данным эпицентр землетрясения определен в районе среднего течения реки Кокуйбель, в северных отрогах Музкольского хребта с координатами $\varphi=38^{\circ}21.3'$, $\lambda=73^{\circ}00'$.



Рис.1. Эпицентр Сарезского землетрясения 7 декабря 2015 г., определенный разными сейсмологическими службами

Следует отметить, что землетрясение 7 декабря 2015 г. произошло практически в том же месте, что и известное 9-балльное Сарезского землетрясение 1911 г. с M=7.4 (ϕ =38.2, λ =72.8), при этом были наиболее сильно повреждены и разрушены те же се-

ления, что и при землетрясении 1911 г., расположенные в верховьях долины реки Бартанг (Кудара, Пасор, Бопасор, Рухч, Акташ, Ташкол, Курган, Босбайтал). В этих селениях жилые дома и общественные здания построены, главным образом, из рваного камня на глинистом и реже цементном растворе. При землетрясении особенно сильно пострадали селения Гудара, Пасор, Бопасор и Рухч, где интенсивность сотрясений по MSK-64 [2] достигала более 7 баллов.

В кишлаке Гудара были разрушены почти 80% старых жилых домов (рис.2 и 3). В верховьях долины реки Бартанг и его притоках произошли многочисленные обвалы и камнепады (рис. 4). В долинах рек Танымас и Босбайтал (летовки Курган, Акташ, Ташкол, Босбайтал) были полностью разрушены каменные постройки для содержания скота. По бортам долины реки Кокуйбель и особенно Босбайтал на поверхности гляциальных отложений образовались значительные трещины (рис. 5), где интенсивность сотрясений, очевидно, достигала 7-8 баллов. Длина зоны, где образовались трещины в грунте, составляет около 15-16 км при ширине 5-6 км. Протяженность некоторых из них составляла до 4-5 км, при ширине раскрытия от 30-40 см до 0.8 см и более. Общее простирание трещин - в основном CB-ЮЗ.



Рис. 2. Характерные повреждения жилых домов в эпицентральной зоне землетрясения



Рис.3.Разрушенные жилые дома каменной постройки в кишлаке Гудара



Рис. 4. Обвалы и камнепады по долине р. Бартанг



Рис.5. Трещины на правом борту долины р. Босбайтал (северо-восточнее оз. Сарез)

В западном направлении от эпицентра, вниз по течению р. Бартанг, интенсивность сотрясений составляла 6 баллов в селениях Барчидив, Чадуд, Басид, а в селениях, расположенных ниже, включая и райцентр Рушон, расположенном на удалении от эпицентра на 105 км, колебания достигали 5-6 баллов (табл.1.)

Севернее эпицентральной зоны, в верховьях долины реки Ванч, в селениях Ванвани-Боло, Ванвани-Поен и Поймазор, интенсивность подземных толчков достигала 6 баллов. Большинство жилых глинобитных домов этих селений получили повреждения в виде трещин в стенах и частичного обрушения частей стен. В райцентре Ванч колебания достигали 5-6 баллов. В южном направлении в районе селений Аличур, расположенном в 73 км и Джилонды в 88 км от эпицентра, интенсивность сотрясений уменьшилась до 5-6 баллов. Колебания интенсивностью 5-6 баллов ощущались в Мургабе (106 км), 5 баллов в г. Хороге (135 км), 4-5 баллов в Джиргатале (176 км), 4 балла в Ишкашиме (201 км), Душанбе (345 км), 3-4 балла в Худжанде (350 км), Оше (250 км), 3 балла в Ташкенте (446 км). Сейсмические колебания землетрясения 7 декабря 2015 г. интенсивностью от 3 до 5 баллов ощущались на территории Кыргызстана, Узбекистана, Афганистана и Китая.

По результатам обследования данного землетрясения составлена карта изосейст балльности (рис.6), которая почти совпадает с такой же картой землетрясения 1911 года (рис.7). Макросейсмические данные о Сарезском землетрясении 07.12.2015 г. представлены в табл.1.



Рис. 6. Карта изосейст Сарезского землетрясенияс 07.12.2015 (Джураев Р.У.). 1 - баллы; 2 - изосейста балльности; 3 - эпицентр по инструментальным данным; 4 - макросейсмический эпицентр; 5 - трещины в грунтах



Рис.7. Карта изосейст Сарезского землетрясения 18.02.1911 года (Киняпина Т.А. 1962 г. по данным Шпилько Г.А. 1914-1915 гг.)

таолица т	Таблица	1	
-----------	---------	---	--

	Макросейсмические данные о Сарезском землетрясении 07.12.2015 г.									
N⁰	Пункт	Δ, км	φ°, N	λ°, Ε		N₂	Пункт	Δ , км	φ°, Ν	λ°, Ε
7-8 баллов					5-6	баллов				
1	пункт 1 (зона трещин)	33	38.48	73.05		30	Булункуль	66	37.70	72.97
2	летовка 1 (Босбайтал)	30	38.44	73.05		31	Аличур	73	37.75	73.27
	7 балло	В				32	Сардем	75	37.70	72.32
3	Сарез (лагерь геолог.)	10	38.22	73.68		33	Джилонды	88	37.49	72.71
4	оз. Сарез (Усой)	12	38.30	72.62		34	Удоб	96	38.55	71.75
5	Кудара	16	38.40	72.67		35	Техарв	98	38.53	71.69
6	Бопасор	18	38.41	72.62		36	Емц	102	38.00	71.67
7	Ирхт	20	38.13	72.61		37	Шучанд	106	37.96	71.64
8	Пасор	20	38.40	72.60		38	Бунай	108	38.43	71.55
9	летовка 2	21	38.47	72.70		39	Рушан	111	37.93	71.55
10	летовка 3	34	38.58	72.80		40	Мургаб	106	38.17	72.97
11	летовка 4	39	38.62	72.78		41 Ванч 116		116	38.38	71.45
6-7 баллов					42	Развилка	126	38.28	71.34	
12	Барчидив	24	38.60	72.47			5 б	аллов		
13	Савноб	33	38.31	72.61		43 пер.Койтезек		90	37.47	72.77
	6 баллов					44	Манем	125	37.54	71.70
14	Нисур	34	38.30	72.40		45	Хорог	135	37.50	71.58
15	Япшорв	39	38.31	72.32		46	Рангкуль	142	38.49	73.38
16	Рошорв	40	38.32	72.32		47 Сангвор 146		146	38.77	71.22
17	Бардара	46	38.10	72.30		48 Курговад 149 38.42		71.10		
18	Чадуд	52	38.12	72.18		49 Гармчашма 161 3		37.20	71.55	
19	Басид	58	38.11	72.15		50	50 Калайхум 175 38.45		71.78	
20	Чадегив	67	38.11	72.04		4-5 баллов				
21	Разуч	75	38.15	71.93		51 Лангар 13		137	37.05	72.67
22	Дарджомч	77	38.12	71.93		52	Сарыташ	165	39.72	73.25
23	Поймазор	82	38.65	71.97		53	Шитхарв	170	36.85	72.07
24	Ванван-боло	84	38.64	71.93		54	Джиргаталь	176	39.22	71.20
25	Ванван-поен	85	38.63	71.90		55	Сагирдашт	187	38.63	70.67
26	Бартанг	85	38.05	71.80		56	Тавильдара	204	38.70	70.71
27	Висав	87	38.04	71.80		57	Куляб	265	37.92	69.78
28	Хиджез	90	38.00	71.82			4 6	балла		
29	Каракуль	105	39.03	73.56		58 Ишкашим 201 36.72 7			71.60	
						59	Гарм	224	39.02	70.37

Сарезское землетрясение 7 декабря 2015 года сопровождалось большим количеством повторных толчков. До конца 2015 года в данном районе произошло 28 ощутимых землетрясения с магнитудой $4.1 \le Mb \le 5.4$ (табл. 2., рис. 8), причем основное их число произошло в первые два дня (табл. 1). Многие из них в эпицентре проявлялись интенсивностью от 3-4 до 4-5 баллов, а отдельные до 5-6 баллов.

Афтершоки землетрясения 7 по 27декабр									
	Дата	Время	Mb	координ	Н,		Дa		
				φ°, Ν	λ°, Ε	КМ			
	07	07:50:05	7.2	38.21	72.78	22		07	
	07	07:59:09	5.3	38.75	72.85	18		07	
	07	08:24:11	4.7	38.23	72.74	10		07	
	07	08:54:14	4.4	38.82	73.11	10		07	
	07	08:54:48	4.7	38.58	73.27	10		08	
	07	09:24:52	4.9	38.49	73.24	10		08	
	07	10:04:58	5.4	38.65	73.20	20		08	
	07	10:34:22	4.6	38.21	72.94	10		08	
	07	11:19:26	4.3	38.70	73.12	10		08	
	07	11:30:34	4.3	38.52	72.99	10		09	
	07	11:47:59	4.9	38.53	73.09	10		10	
	07	14:27:17	4.5	38.36	72.91	10		11	
	07	15:23:56	4.8	38.53	73.09	10		13	
	07	$16 \cdot 27 \cdot 45$	4.3	38.27	72.72	10		27	

аоря 2015 г. с 4.1 \leq NID \leq 5.4 (USGS)							
Дата	Время	Mb	координ	Н,			
			φ°, Ν	λ°, Ε	КМ		
07	17:51:47	4.6	38.22	72.97	10		
07	18:54:33	4.5	38.75	73.21	10		
07	22:01:22	4.6	38.59	72.91	10		
07	23:27:06	4.3	38.74	73.10	10		
08	04:17:51	4.1	38.26	73.34	19		
08	09:28:55	4.6	38.24	72.93	19		
08	10:24:24	4.4	38.76	73.26	10		
08	14:08:44	4.6	38.51	72.86	10		
08	16:37:38	4.4	38.36	72.42	10		
09	19:17:38	5.0	38.37	72.86	10		
10	00:01:29	4.4	38.78	73.10	10		
11	19:21:22	4.1	38.70	73.19	10		
13	20:09:19	4.8	38.32	73.02	10		
27	23:05:31	4.4	38.03	72.68	10		

Таблица 2



Рис. 8. Эпицентры главного подземного толчка (07.12.2015 г.) и афтершоков с $4.1 \le Mb \le 5.4$ с 7 по 31.12.2015 г. (USGS)

По данным Геофизической службы АН Республики Таджикистан всего до конца 2015 г. на Памире зарегистрировано 1637 толчков с К≥9, причем только за 7 декабря отмечено 536 землетрясений с К=9-14. Они распопожились на большой территории, отмеченной координатами: 37.3-38.9° с.ш. и 72.1-73.9°в.д.

В акватории озера Сарез землетрясение 7 декабря 2015 г. проявилось с интенсивностью до 7 баллов. На левом берегу озера была частично разрушена относительно новое одноэтажное каменной постройки (на цементном растворе) здание гостиницы МЧС, а на правом берегу полностью разрушена каменная постройка (склад) полевого лагеря геологов (рис. 9).



Рис. 9. Поврежденные постройки на Усойском завале и правом берегу озера Сарез.

Во время землетрясения в озере поднялась волна высотой 0.9-1.0 м. Вдоль берегов озера произошли многочисленные небольшие обрушения раздробленного материала на крутых склонах, но крупных обрушений замечено не было (рис. 10). На поверхности завала видимых изменений не произошло. Сравнение снимков правобережного склона в 4 км выше плотины Усой, сделанных в 2011 г. и 13.12.2015 г., не показали существенных изменений на этом участке. Полевое обследование, проведенное летом 2016 г., также не показало, видимых смещений на Правобережном «оползневом» склоне.



Рис. 10. Обрушение горных пород на склонах по берегам Сарезского озера во время землетрясения 7 декабря 2015 г.

Следует отметить, что после основного толчка уровень воды в озере поднялся на 20-25 см, который в течение 2-3 суток пришел в первоначальное состояние. Обследование родников показало, что их дебиты не изменились, уровень воды в реке Бартанг соответствовал уровню зимнего периода. Это свидетельствует о стабильности фильтрации воды из озера через завал и о том, что зона фильтрации при землетрясении не изменилась.

26 декабря 2015 г. при повторном аэровизуальном обследовании акватории озера в верхней части левобережного оползневого склона была обнаружена трещина протяженностью около 1.2 км (при обследовании 13 декабря 2015 г. этой трещины не обнаружено), которая образовалась в результате многочисленных повторных толчков (рис. 11). По трещине были смещены поверхностные рыхлые четвертичные отложения на расстояние от 1-2 до 4-5 м. Мощность этих отложений на разных частях склона колеблется от 3-5 до 8-10 м. В нижних частях склона смещения отложений не обнаружено. Подвижки прекратились в феврале месяце, после прекращения ощутимых повторных толчков. По предварительным расчетам объем вероятного оползневого массива составляет около 13 млн.м³. Данный массив разделен на множество блоков, поэтому вероятность их одновременного схода была невелика. Было сделано заключение, что даже в случае, если бы вся эта масса одновременно сошла в озеро, она могла на некоторое время поднять уровень воды на 20-30 см, что представляло бы угрозу плотине. В июле 2016 г. специалистами Главного управления геологии при Правительстве Таджикистан при очередном плановом обследовании озера на левобережном склоне вдоль трещины были установлены щелемеры, по которым вели наблюдения в 2016-2017 гг. Мониторинг не показал видимых подвижек на данном участке.



Рис. 11. Трещины и смещения поверхностных гляциальных отложений на Левобережном «оползневом» участке

19-20 июля 2017 года один из авторов участвовал в повторном вертолётном и наземном обследовании озера Сарез и его окрестностей, включая Усойский завал, правобережный и левобережный оползневые склоны. Было выявлено, что к этому времени трещина, которая образовалась в результате землетрясения 7 декабря 2015 года и его последующих толчков в верхней части левобережного склона, была почти полностью засыпана осыпавшими обломочными и глинистыми отложениями и стала почти незаметной (рис. 12). Оказалось, что объём сместившихся масс не столь велик, как был определен ранее. Произошло смещение рыхлых гляциальных отложений в основном в верхней и средней части склона.

На поверхности Усойского завала и в каньоне видимых изменений не было выявлено. Дебиты родников в каньоне соответсвовали параметрам ежегодных наблюдений в зимний и летний сезоны.



Рис. 12. Левобережный оползневой склон (фото 19.07.2017 г.)

Сарезкое землетрясение 7 декабря 2015 г., как и Сарезское 1911 г., произошло на границе двух тектонических зон - Центрального и Южного Памира, имеющих разную историю геологического развития, разделенных Бартанг-Пшартским глубинным разломом [2]. Эпицентр землетрясения 7 декабря 2015 г. тяготеет к дизъюнктивному узлу, образованному Бартанг-Пшартским глубинным разломом и новообразованными тектоническими нарушениями Каракульско-Сарезской зоны субмеридионального простирания [3]. Наблюдается миграция очагов последующих повторных толчков вдоль простирания последнего (рис. 8).

Изосейсты землетрясения имеют форму эллипса вытянутого в субширотном направлении (рис. 6). Площадь 7-балльной изосейсты составляет около 1900 км², 6-балльной - 32000 км² и 5-балльной - более 125000 км². Площадь 6-балльной изосейсты землетрясение 1911 г. (рис. 8) составляла 33000 км², а 5-балльной - 117000 км². Направление главных осей изосейст и площадей 6- и 5-балльных зон этих сейсмических событий почти совпадают.

Глубина очага землетрясения 07.12.2015 г. по инструментальным данным определена на глубине 30-40 км. По макросейсмическим данным [4]:

- через макросейсмическое уравнение ($I_0 = bM$ - vlgh + c, при M = 7.2, $I_0 = 8.0$, b = 1.5, v = 3.5 и c = 3.0) составляет 40 км;

- через радиусы соседних изосейст (I₀ - Ii = v lg $\sqrt{\frac{\Delta^2 + h^2}{h^2}}$) равна 30 км.

Относительно большая площадь плейстосейстовой зоны свидетельствует о больших размерах очаговой области землетрясения. Горизонтальная протяженность очага (L_x = 15.0 км) вычислена по формуле [5]

$$L_x = d_i max - d_i min$$
,

где, d_imax и d_imin – наибольший и наименьший диаметры первой изосейсты.

Следует отметить, что 26 октября 2015 г., за 11 дней до сейсмического события 07.12.2015 г., в северо-восточной части Афганистана произошло сильнейшее землетрясение с М=7.2, нанесшее значительный материальный ущерб с человеческими жертвами в приграничных районах Афганистана и Пакистана (рис. 13). Это землетрясение в регионе стало сильнейшим за последние десятилетия. Очаг землетрясения был зарегистрирован в пределах Памиро-Гиндукушской зоны, на глубине 230 км. В эпицентре интенсивность сотрясений достигала более 8 баллов.



Рис.13. Последствия землетрясения 27.10.2015 в эпицентральной зоне (фото Reuters)

Особенностью этого землетрясения явилось то, что в одном очаге в течение 10 секунд произошли два сильных подземных толчка, создав сложные механизмы в очаге. То обстоятельство, что землетрясение произошло на достаточно большой глубине, очевидно, вызвало перераспределение напряжений в земной коре на Памире и южном Тянь-Шане, что спровоцировало катастрофическое Сарезское землетрясение 7 декабря 2015 г. и многочисленные сильные подземные толчки в юго-восточной части Алайской долины.

Обследование последствий Сарезского землетрясения 07.12.2015 г. показали, что сработал тот же очаг, что и при землетрясении 1911 года. По характеру проявления на поверхности и параметры этих сейсмических событий почти одинаковы. Большие разрушения в эпицентральной зоне Сарезского землетрясения 07.12.2015 в основном связаны со слабой сейсмостойкостью местных жилых построек, что необходимо учесть строителям при возведении новых строений из местного материала и усилении старых жилых домов.

Разница в определении местоположения эпицентра Сарезского землетрясения и его афтершоков различными службами связана с недостаточным количеством регистрирующих станций в Таджикистане, в частности на Памире, и отдаленностью международных сейсмических станций, что увеличивает ошибки в точности определения координат эпицентров землетрясений в этом районе. Проблему точности определения координат эпицентров землетрясений, можно решить увеличением количества широкополосных цифровых сейсмических станций, особенно на Памире, где нормально функционирует лишь одна цифровая станция «Манем» вблизи г. Хорог.

Детальное обследование акватория Сарезского озера показало устойчивость Усойского завала (естественная каменно-набросная плотина высотой более 500 м) к сейсмическим колебаниям интенсивностью 7-8 баллов, что говорит в пользу такой конструкции при строительстве крупных ГЭС в сейсмически активных районах, особенно в Таджикистане. На правобережном «опасном оползневом» склоне, катастрофическим обвалом которого некоторые исследователи пугали местное население, никаких изменений не произошло. На наш взгляд, мнение о том, что реальной угрозы смещения со склонов огромных масс горных пород, способных вызвать катастрофу на озере Сарез, не существует [6], является правильным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Негматуллаев С. Х., Рислинг Л. И., Улубиева Т. Р. Каталог ощутимых землетрясений Таджикистана с 1955-2015 гг. Душанбе : Дониш, 2016.

- 2. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М. : МГК АН СССР, 1965.
- 3. Кухтиков М. М. Винниченко Г. П. Краевые долгоживущие разломы Памира. Душанбе : Дониш, 1977.
- 4. Бабаев А. М., Деникаев Ш. Ш. Отчет «Обобщение и анализ работ по геологии и тектонике района Сарезского озера». Фонды Главного управления геологии при Правительстве РТ. Душанбе, 2000. 55 с.
- 5. Шебалин Н. В. Методы использования инженерно-геологических данных в сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М. : Наука, 1968. С 95-111.
- 6. Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М. : Наука, 1974. 54 с.
- 7. Ищук Н. Р., Ищук А. Р. Еще раз о проблемах озера Сарез // Материалы международной конференции «Опыт изучения оползней и обвалов на территории Таджикистана и методы инженерной защиты». Душанбе, 2002. С. 20-25.

THE MACROSEISMIC SURVEY OF THE SAREZ EARTHQUAKE (PAMIR, TAJIKISTAN) AT DECEMBER 7, 2015, K=17.0, M=7.2, I₀=7-8

Rakhimjon U. Djuraev, Bekhruz A. Alamov., Damir F. Baiganov Institute of Geology, earthquake engineering and seismology Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan dhuraev52@mail.ru, behruz.beh@mail.ru, baigenov87@mail.ru

Summary. The paper presents the results of a macro-seismic survey of the destructive Sarez earthquake on December 7, 2015, which occurred on the territory of Tajikistan. The earthquake caused significant material damage to the Pamir settlements of Rushan, Shugnan and Vanch districts of Tajikistan. Comparison of the consequences of the two Sarez earthquakes in 1911 and 2015 showed their identity. According to the influence on the surface of the earth, these two seismic events are almost identical. It indicates the coincidence of the mechanisms and depths of the hypocenters.

Key words: earthquake, aftershock, magnitude, Sarez lake, earthquake intensity.

УДК 004.03 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Петров Сергей Александрович, Юнусова Лейла Камилевна ООО «ДСис», г. Обнинск sales@dsys.ru www.dsys.ru

Аннотация. Универсальная и быстродействующая система сейсмического мониторинга на оптических линиях связи, которая позволяет вести мониторинг вибраций (их амплитуд, спектров, реакций на сейсмическое событие) различных частей зданий и сооружений (например, ГЭС и ГТС). Ключевые слова: сейсмометрический мониторинг, сейсмическое событие, Guralp, велосиметр, регистратор сейсмических сигналов, ГЭС.

В систему мониторинга входит подсистема предупреждения о сейсмическом событии различной величины (амплитуды). Подсистема оповещения в данном случае также может следить за величиной амплитуд отдельных частей объекта и при выходе амплитуд колебаний за допустимые значения включать систему предупреждения (светозвуковая сигнализация).

Идея системы сейсмометрического мониторинга состоит в следующем:

1) Измерительный пункт.

На точках измерения располагаются акселерометры и/или велосиметры со встроенным или внешним регистратором, оптический медиа конвертор из Ethernet в оптоволокно, подведена низковольтная линия питания 12 В и оптический кабель. Это обеспечивает расположение точек измерения в любом месте на здании или сооружении.

2) Помещение серверной.

Все оптические кабели подводятся в помещение серверной комнаты, в которой располагается рэковый модуль с медиа конверторами оптоволокна в Ethernet, Ethernet Switch для подключения всех медиа конверторов по Ethernet. Требуется наличие модуля, обеспечивающего сбор данных, синхронизацию всех станций по NTP. Модуль сбора должен иметь возможность управления выходами реле (встроенными или внешними) для управления подсистемой оповещения (светозвуковая сигнализация).

3) Светозвуковая сигнализация.

Подсистема оповещения включает в себя программно-управляемый блок реле и светозвуковой маяк.

Система была разработана компанией ООО «ДСис» и базируется на использовании регистрирующего оборудования производства Guralp Systems Ltd. (Великобритания) или ООО ДСис (Россия). В зависимости от требований, конфигурация системы может быть изменена, что делает ее гибкой для применения. Например, набор датчиков и регистраторов может быть следующим:

- велосиметр CMG-6T (Guralp Systems) или Куприт (ООО «ДСис»);

– регистратор типа DM24 со встроенным модулем EAM (Guralp Systems) или регистратор Апатит (ООО «ДСис»). Оба регистратора поддерживают синхронизацию по NTP протоколу.

Остальные компоненты системы (АКБ, ИБП, медиа конверторы, электрические и оптические кабели и т.д.) могут быть заменены на оборудование различных производителей исходя из требуемых ценовых и качественных характеристик.

Например, данная система реализована для Сангтудинской ГЭС-1, Республика Таджикистан. Причина использования оптоволоконных линий связи на ГЭС следующая – передача возможна на большие расстояния (до 20 км) по одной линии, не требуется защиты канала связи от электромагнитных помех, также это увеличивает точность синхронизации по NTP протоколу из-за того, что сейсмометрическая сеть независима от внутренней сети.

На практике это также удобно тем, что не требуется размещать различные конверторы и преобразователи между измерительным пунктом и сервером. Электропитание на ГЭС можно пробросить из любого ближайшего доступного места. Значительно сокращается время настройки системы, так как необходимо работать только на измерительном пункте и в серверной, без необходимости обслуживать коммуникационное оборудование на линии связи. При различных способах, местах, условиях установки конфигурация измерительного пункта может меняться. Главное – изменения в конструкции и/или конфигурации измерительного пункта не должны влиять на ухудшение качества электропитания и возможность подведения оптоволоконного кабеля.

AUTOMATED SYSTEM OF SEISMOMETRIC MONITORING

Sergey A. Petrov, Leyla K. Yunusova, Ltd «DSys», Obninsk sales@dsys.ru www.dsys.ru

Summary: General-purpose and fast-acting system of seismometrical monitoring based on optical communication lines allows you to monitor vibrations (amplitudes, spectrums, reactions on seismic events) of different parts of building and constructions.

Key words: Seismometric monitoring, seismometric event, Guralp, seismic signal recorder, velosimeter, hydroelectric power station.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аламов Бехруз Ахмадшоевич

behruz.beh@mail.ru Ташкент, Республика Узбекистан Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан

Алимухамедов Илхом Мизратович

ilhom75@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития РУз, Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз *Научный руководитель* Хамидов Лутфулла Абдуллаевич, д.ф.-м.н.

Анохин Артем Васильевич

art 27@mail.ru Тюмень ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» *Научный руководитель* Гильманова Наталья Вячеславовна, к.г.-м.н.

Артиков Фарход Рустамович

farhadbek_uz@mail.ru Ташкент, Республика Узбекистан Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз *Научный руководитель* Хамидов Лутфулла Абдуллаевич, д.ф.-м.н.

Бабкин Андрей Иванович

<u>aib@mi-perm.ru</u> Пермь «ГИ УрО РАН» к.т.н.

Байгенов Дамир Фарухович baigenov87@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан

Белевская Мария Александровна Пермь ФИНЕГС РАН. «ЕН Усо РАН»

ФИЦ ЕГС РАН, «ГИ УрО РАН»

Белоглазова Анастасия Алексеевна

beloglazova-anastasija@rambler.ru Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Прилипко Наталья Максимовна,

Бирюлин Сергей Викторович

serrega2009@gmail.com

Екатеринбург ИГФ УрО РАН *Научный руководитель* Юрков Анатолий Константинович, к. г.-м. н.

Бобров Валерий Юрьевич

bvy1692@gmail.com Пермь «ГИ УрО РАН» *Научный руководитель* Санфиров Игорь Александрович, д.т.н.

Борисова Любовь Константиновна

<u>otdel19@gitas.ru</u> Октябрьский АО НПФ «ГИТАС»

Брюханова Екатерина Вячеславовна

ekaterinabriuhanova@yandex.ru Тюмень ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Научный руководитель Мамяшев Венер Галиуллинович, к.г.-м.н.

Будилов Дмитрий Игоревич

budilov@emsd.ru

Петропавловск-Камчатский Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга *Научный руководитель* Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Васильев Алексей Владимирович Октябрьский ООО НПФ «ВНИИГИС-3ТК»

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

sombra@mail.ru Пермь ФИЦ ЕГС РАН, «ГИ УрО РАН»

Ворона Ульяна Юрьевна

ulyana@gs.sbras.ru Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН

Вязовкина Анастасия Олеговна

<u>vz-anastasia@mail.ru</u> Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Гусев Владимир Васильевич, к.г.-м.н.

Вязовкина Екатерина Олеговна

kate_vyazovkina@mail.ru Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Гусев Владимир Васильевич, к.г.-м.н.

Гайфуллин Яхия Самигуллинович

otdel19@list.ru Октябрьский ПАО НПП «ВНИИГИС»

Галиева Маргарита Фаритовна

margaritagalieva@gmail.com Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет Научный руководитель Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Гильмундинов Антон Юрьевич

scutep@yandex.ru Воронеж ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» *Научный руководитель* Глазнев Виктор Николаевич, д.ф.-м.н.

Гоев Андрей Георгиевич

<u>a.g.goev@gmail.com</u> Москва Институт динамики геосфер РАН

Голубева Инга Викторовна

<u>gol@hotbox.ru</u> Пермь ФИЦ ЕГС РАН, «ГИ УрО РАН»

Горбачёва Анна Павловна

gorbacheva@pngf.com Пермь ПАО «Пермнефтегеофизика» Научный руководитель Сальникова Ольга Леонидовна

Гусева Наталья Сергеевна

<u>natali.guseva.2010@mail.ru</u> Пермь «ГИ УрО РАН»

Джураев Рахимджон Усмонович

<u>dhuraev52@mail.ru</u> Ташкент, Республика Узбекистан Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан

Дубовенко Юрий Иванович

<u>yuriiguy@gmail.com</u> Киев, Украина Институт геофизики НАН Украины

Езимова Юлия Евгеньевна

уееzimova@geo.komisc.ru Сыктывкар Институт геологии Коми НЦ УрО РАН ФИЦ Коми НЦ УрО РАН *Научный руководитель* Удоратин Валерий Вячеславович, к.г.-м.н.

Еманов Александр Федорович

emanov@gs.nsc.ru Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН д.т.н.

Еманов Алексей Александрович

alex@gs.nsc.ru Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН к.г-м.н.

Ефименко Сергей Анатольевич

serg_yef@mail.ru Жезказган, Республика Казахстан ТОО «Корпорация Казахмыс»

Жостков Руслан Александрович

Москва Институт физики земли РАН *Научный руководитель* Собисевич Алексей Леонидович, член-корр. РАН

Жукова Светлана Александровна

<u>szhukova@phosagro.ru</u> Кировск КФ АО «Апатит» к.т.н.

Зверева Анастасия Сергеевна

voitova.as@gmail.com

Пермь ФИЦ ЕГС РАН, «ГИ УрО РАН» Научный руководитель Собисевич Алексей Леонидович, член-корр. РАН

Злобина Татьяна Викторовна

tati.verkholantseva@gmail.com Пермь «ГИ УрО РАН» *Научныйй руководитель* Дягилев Руслан Андреевич, к.ф.-м.н.

Зуева Ирина Александровна

<u>ek92wa@mail.ru</u> Петрозаводск ИГ КарНЦ РАН *Научный руководитель* Морозов Алексей Николаевич, к.т.н.

Ибрагимов Алишер Хайдарович

alisher_ibragimov@yahoo.com

Ташкент, Республика Узбекистан Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз *Научный руководитель* Хамидов Лутфулла Абдуллаевич, д.ф.-м.н.

Ильясова Милауша Ильдаровна

<u>m.ilyasova@gitas.ru</u>

Октябрьский НПП «ВНИИГИС» Научный руководитель Гайфуллин Яхия Самигуллинович, к.т.н.

Исатаева Фарида Муратовна

adambekova_farid@mail.ru Караганда, Республика Казахстан Карагандинский государственный технический университет

Исламгалиев Дмитрий Владимирович

dif1205@mail.ru Екатеринбург ВГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» *Научный руководитель* Ратушняк Александр Николаевич, к.т.н.

Каган Михаил Моисеевич

Апатиты Горный Институт КНЦ РАН

Казазян Мартин Гарикович

kazazyan98@mail.ru Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Дубинова Антонина Алексеевна

Калинина Элеонора Владимировна

elakalinina@gmail.com Воронеж ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», ФИЦ ЕГС РАН *Научный руководитель* Надежка Людмила Ивановна, к.г.-м.н.

Кан Андрей Николаевич

kandrat77@mail.ru andrey.kan@kazakhmys.kz Жезказган, Республика Казахстан ТОО «Корпорация Казахмыс»

Конечная Яна Викторовна

yanakon@mail.ru Архангельск ФИЦ ЕГС РАН, ФГБУН ФИЦ комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН к.т.н.

Котельников Владимир Вячеславович vovadin95@mail.ru

Тюмень Тюменский Индустриальный Университет *Научный руководитель* Гильманова Наталья Вячеславовна, к.г.-м.н.

Котов Андрей Николаевич

Москва Институт физики земли РАН *Научный руководитель* Собисевич Алексей Леонидович, член-корр. РАН

Крутенко Даниил Сергеевич

dsk37@tpu.ru Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет *Научный руководитель* Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Кузнецова Анна Михайловна

kuznetsovaa.m@inbox.ru Тюмень ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» *Научный руководитель* Мамяшев Венер Галиуллинович, к.г.-м.н.

Кулакова Наталья Валерьевна kulakva@gmail.com

Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет Научный руководитель Спасский Борис Алексеевич, д.г.-м.н.

Курдюков Кирилл Анатольевич kurdyukov.1997@inbox.ru

Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Научный руководитель Морова Алена Александровна

Кучев Алексей Васильевич

javierhernandez@inbox.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Пугин Алексей Витальевич, к.ф.-м.н.

Лапшина Юлия Викторовна

lapshina5@mail.ru Пермь ПАО «Пермнефтегеофизика» Научный руководитель Сальникова Ольга Леонидовна

Лексин Василий Константинович

lex-vasya@mail.ru Южно-Сахалинск АО «Тихоокеанская инжиниринговая компания», Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН *Научный руководитель* Веселов Олег Васильевич, к.г.-м.н.

Лемешева Дарья Александровна

<u>darya_lemesheva@mail.ru</u> Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Морова Алена Александровна

Лобачева Марина Андреевна

lobacheva@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга Научный руководитель

Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Магомедова Александра Шамильевна

asmagomedova@geo.komisc.ru Сыктывкар Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН *Научный руководитель* Удоратин Валерий Вячеславович, к.г.-м.н.

Моторин Александр Юрьевич

ayumotorin@phosagro.ru Кировск КФ АО «Апатит»

Мурыськин Алексей Сергеевич

тигiskinas@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет, «ГИ УрО РАН» Научный руководитель Ковин Олег Николаевич, PhD

Нигматулин Айдар Муратович

<u>Aidar.Nigmatulin@kazakhmys.kz</u> Жезказган, Республика Казахстан ТОО «Корпорация Казахмыс»

Овчинникова Елизавета Александровна

<u>lizagfzpsu@gmail.com</u> Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Шумилов Александр Владимирович, к.т.н.

Ордубаев Султан Галиевич po1@kazakhmys.kz

Жезказган, Республика Казахстан ТОО «Корпорация Казахмыс»

Петров Сергей Александрович

www.dsys.ru

Обнинск Общество с ограниченной ответственностью «ДизайнСистемы»

Пивоваров Роман Сергеевич

<u>Q5000@mail.ru</u> Воронеж ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», ФИЦ ЕГС РАН *Научный руководитель* Надежка Людмила Ивановна, к.г.-м.н.

Полянский Павел Олегович

<u>PPavel6.10@gmail.com</u> Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН *Научный руководитель* Еманов Александр Федорович, д.т.н.

Преснов Дмитрий Александрович

presnov@physics.msu.ru Москва Институт физики земли РАН *Научный руководитель* Собисевич Алексей Леонидович, член-корр. РАН

Родионов Александр Игоревич

fabian4566@gmail.com Петрозаводск Институт геологии Карельского научного центра РАН

Рязанцев Павел Александрович

chthonian@yandex.ru Петрозаводск Институт геологии Карельского научного центра РАН

Сдельникова Ирина Александровна

sdelnikova@gsras.ru Обнинск ФИЦ ЕГС РАН Научный руководитель Стеблов Григорий Михайлович, д.ф.-м.н.

Серёжников Николай Александрович serezhnikov@gs.sbras.ru

Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН *Научный руководитель* Еманов Александр Федорович, д.т.н.

Сивкова Анастасия Владимировна

sivkovaav@tmn.lukoil.com Тюмень ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» *Научный руководитель* Гильманова Наталья Вячеславовна, к.г.-м.н.

Сиразетдинов Ильшат Тагирович

<u>ilshatsirazetdinov@mail.ru</u> Октябрьский ПАО НПП «ВНИИГИС» *Научный руководитель* Гайфуллин Яхия Самигуллинович, к.т.н.

Скоркина Анна Александровна

anna@mitp.ru Москва Институт теории прогноза землетрясений РАН к.ф.-м.н.

Сорвачева Екатерина Юрьевна

<u>katerina199624@mail.ru</u> Самара ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» *Научный руководитель* Прилипко Наталья Максимовна

Стеблов Григорий Михайлович

steblov@ifz.ru Москва Институт физики земли РАН д.ф.-м.н.

Султанов Вильдан Фангарович

sgs-ztk@yandex.ru Октябрьский ООО НПФ «ВНИИГИС-ЗТК» Научный руководитель Яхина Ирина Айратовна, к.г.-м.н.

Тайницкий Александр Александрович tainickiy@mail.ru Пермь ПФИЦ УрО РАН

Тамахин Александр Сергеевич

<u>snyyki@gmail.com</u> Воронеж ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» *Научный руководитель* Глазнев Виктор Николаевич, д. ф-м.н.

Удоратин Валерий Вячеславович

udoratin@geo.komisc.ru Сыктывкар Институт геологии Коми НЦ УрО РАН ФИЦ Коми НЦ УрО РАН к.г.-м.н.

Фатеев Александр Владимирович

fateev@gs.sbras.ru Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Федоренко Ирина Валентиновна

arh-seismo@yandex.ru Архангельск ФГБУН ФИЦ комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН *Научный руководитель* Морозов Алексей Николаевич, к.т.н.

Халилов Дамир Газинурович

adskiykrevetko@yandex.ru Когалым ОАО «Когалымнефтегеофизика» Научный руководитель Костицын Владимир Ильич, д.т.н.

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич hayrulla_classic@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз *Научный руководитель* Ибрагимов Алишер Хайдарович, к.ф.-м.н.

Чернобров Дмитрий Сергеевич

dchernobrov@goi.kolasc.net.ru

Апатиты Горный Институт КНЦ РАН *Научный руководитель* Козырев Анатолий Александрович, д.т.н.

Шаханов Амирхан Мухитжанович

amirhan.shahanov@mail.ru Жезказган, Республика Казахстан ТОО «Корпорация Казахмыс»

Шевкунова Елена Викторовна

elenash@gs.sbras.ru Новосибирск Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН

Шулаков Денис Юрьевич

shulakov@mi-perm.ru Пермь «ГИ УрО РАН», ФИЦ ЕГС РАН к.т.н.

Юнусова Лейла Камилевна

sales@dsys.ru Обнинск Общество с ограниченной ответственностью «ДизайнСистемы»

Яхина Ирина Айратовна

Октябрьский ООО НПФ «ВНИИГИС-ЗТК»

СОДЕРЖАНИЕ

АЛИМУХАМЕДОВ И. М.
Новая основа инженерно-сейсмометрических наблюдений на плотине Андижанского
водохранилища 3
АНОХИН А. В.
Изучение влияния состава глинистого цемента на фильтрационные параметры пластов
коллекторов юрских отложении/
АРТИКОВ Ф. Р.
Распределения очагов землетрясений в ближних зонах водохранилищ Узбекистана 11
БЕЛОГЛАЗОВА А. А., СОРВАЧЕВА Е. Ю.
Доразведка отложений мячковского и подольского горизонтов по данным ННК 16
БИРЮЛИН С. В.
Применение отношения магнитулы сейсмического события к логарифму расстояния
до эпицентра при выборе сети радонового и температурного мониторинга 19
БОБРОВ В. Ю., БАБКИН А. И.
Результаты комплексирования продольно-непродольных систем наблюдений
ВЯЗОВКИНА А. О.
Изучение геологических особенностей и надежности флюидоупоров биогермных
образовании в разрезе карбонатной толщи верхнего девона в пределах Муханово-
ВЯЗОВКИНА А. О.
изучение эрозионных врезов по данным сеисморазведки
ВЯЗОВКИНА Е. О.
построение новои модели пласта Сп радаевского горизонта в пределах Камско-Кинельской системи прогибов на примере западного и востоящого ПV
I ИЛЬМУНДИНОВ А. Ю. Возработка имабиа имистианались инфрарала расфизикаского раскатратора 27
газраоотка учеоно-инженерного цифрового теофизического регистратора
ГОРБАЧЕВА А. П.
повышение эффективности г ис за счет использования данных
ГУСЕВА Н. С., ГОЛУБЕВА И. В., БЕЛЕВСКАЯ М. А., ШУЛАКОВ Д. Ю., ЗВЕРЕВА А С. ВЕРХОЛАНИЕВ Ф.Г. ВАРЛАШОВА Ю.В. ЗЛОБИНА Т.В.
Сейсмичность Уральского региона за 2018 год по инструментальным наблюдениям
Уральской сейсмологической сети
ЛУБОВЕНКО Ю. И.
Моделирование трансформант потенциальных полей для Ильинецкой кольцевой
структуры
ЕЗИМОВА Ю. Е., МАГОМЕДОВА А. Ш., УДОРАТИН В. В.
Четдинская локальная радоновая аномалия55

ЕФИМЕНКО С.А., НИГМАТУЛИН А. М., ОРДУБАЕВ С. Г., ШАХАНОВ А. М., КАН А. Н., ИСАТАЕВА Ф. М.
«Online» контроль руд на серебро и медь на Балхашской обоготительной фабрике ТОО «Корпорация Казахмыс
ЖУКОВА С. А., МОТОРИН А. Ю. Динамика изменения сейсмической активности в районе Саамского разлома
ЗВЕРЕВА А. С. Оценка затухания объемных волн в литосфере территории Западного Кавказа 69
ЗЛОБИНА Т. В. Изучение влияния параметров очистных камер на проявления
микросейсмической активности
ИБРАГИМОВ А. Х. Параметры системы оперативного раннего предупреждения о землетрясении
ИЛЬЯСОВА М. И., СИРАЗЕТДИНОВ И. Т., ГАЙФУЛЛИН Я. С. Исследование факторов, влияющих на достоверность оценки объемной литологической модели в обсаженных скважинах
ИСЛАМГАЛИЕВ Д. В. Математическая модель в методе спонтанной поляризации
КАЛИНИНА Э. В., ГОЕВ А. Г. Строение литосферы Воронежского кристаллического массива с использованием методики функции приемника по данным сейсмической станции «Сторожевое»
КОНЕЧНАЯ Я. В., ЗУЕВА И. А., ФЕДОРЕНКО И. В. Уточненный каталог сейсмичсности Карелии за 2005-2016 гг
КОТЕЛЬНИКОВ В. В. Обоснование количественных критериев выделения коллекторов с учетом литолого-фациального анализа терригенных отложений
КРУТЕНКО Д. С., ГАЛИЕВА М. Ф. Геотермия и нефтегазоностность Останинской группы месторождений 104
КУЗНЕЦОВА А. М., БРЮХАНОВА Е. В. Обоснование бесконтактного метода измерения электрических свойств горных пород
КУЛАКОВА Н. В. К выбору уровня приведения для расчета статических поправок в сейсморазведке методом отраженных волн
КУРДЮКОВ К. А., КАЗАЗЯН М. Г. Сейсмофациальный анализ терригенных отложений девона
КУРДЮКОВ К. А., ЛЕМЕШЕВА Д. А. Информативность геофизических и цетромагнитных методов при бурении горизонтальных стволов 120
КУЧЕВ А. В. Микроразведка в населенных пунктах. Возможности и ограничения

ЛАПШИНА Ю. В.
Повышение эффективности разработки Таныпского месторождения по данным геофизических исследований скважин
ЛЕКСИН В. К.
Геологические опасности по данным сейсморазведки высокого разрешения
в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения 132
ЛОБАЧЕВА М. А., БУДИЛОВ Д. И.
Активность вулкана Эбеко по сейсмическим и акустическим излучениям во второй половине 2018 г
МУРЫСЬКИН А. С.
К вопросу о соотношении магнитуд на примере каталогов землетрясений Новой Зеландии
ОВЧИННИКОВА Е. А. Проблемы скважинного и наземного микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта
ПИВОВАРОВ Р. С., КАЛИНИНА Э. В.
Оценка магнитудных невязок широкополосной сейсмической станции «Сторожевое»
ПОЛЯНСКИЙ П. О
Преломляющие горизонты в верхней части земной коры на опорных геофизических
профилях, выделяемые по пространственной когерентности
ПРЕСНОВ Д. А., ЖОСТКОВ Р. А., КОТОВ А. Н.
Исследование связи амплитуды фонового сейсмического шума с параметрами среды (на примере грязевого вулкана Джау-Тепе)
РОДИОНОВ А. И.
Поиск и локализация сейсмодислокаций в донных осадках малых водоемов с помощью георадиолокации
РЯЗАНЦЕВ П. А.
Изучение высокоуглеродистых горных пород методом электротомографии 165
СДЕЛЬНИКОВА И. А., СТЕБЛОВ Г. М.
Оценка цунамигенного потенциала сильнейших субдукционных землетрясений по данным спутниковой геодезии
СЕРЁЖНИКОВ Н. А., ЕМАНОВ А. Ф., ЕМАНОВ А. А., ФАТЕЕВ А. В.,
ШЕВКУНОВА Е. В., ВОРОНА У. Ю.
Сеисмическии эффект промышленных взрывов в западнои Сибири и наведенная
СИВКОВА А. В. Опыт питологического расиленения отложений баженовской свить с учетом
комплексирования расширенного и стандартного комплекса ГИС
СИРАЗЕТДИНОВ И. Т., ГАЙФУЛЛИН Я. С., БОРИСОВА Л. К.
Использование данных петрофизического моделирования при прогнозе техногенного кавернообразования в процессе строительства и эксплуатации скважин
The second

СКОРКИНА А. А. Определение спектральных характеристик среды вблизи камчатских сейсмических станций по телесейсмическим данным	3
СУЛТАНОВ В. Ф., ЯХИНА И. А., ВАСИЛЬЕВ А. В. Геонавигация как инструмент повышения эффективности бурения горизонтальных скважин	7
ГАЙНИЦКИЙ А. А. Интерпретация данных ВЭЗ, осложненных случайной помехой	0
ГАМАХИН А. С. Стохастическое моделирование коровых отражений для метода общей глубинной точки	4
ХАЛИЛОВ Д. Г. Системы термометрического мониторинга скважин	7
ХАМИДОВ Х. Л. Обработка записей землетрясений, полученных с помощью системы мониторинга на плотине Гиссаракского водохранилища	3
Методика анализа данных микросейсмического мониторинга для оценки состояния прибортового массива пород при открытых горных работах	8
ДЖУРАЕВ Р. У., АЛАМОВ Б. А., БАЙГЕНОВ Д. Ф. Макросейсмическое обследование Сарезского землетрясения 7 декабря 2015 года с К=17.0, M=7.2, I ₀ =7-8 (Памир, Таджикистан)226	6
ПЕТРОВ С. А., ЮНУСОВА Л. К. Автоматизированная система сейсмометрического мониторинга	4
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	7

Научное издание

Двадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию Ученым советом «ГИ УрО РАН» Протокол № 2 от 27.02.2019

Компьютерная верстка: Бутырина С.В., Верхоланцев Ф.Г.



Сдано в набор 07.03.2019. Подписано в печать 11.03.2019. Формат 60х90/8. Тираж 300 экз. Заказ № 190160

Отпечатано в ООО «Интер-ЕС» г. Пермь, ул. Плеханова, 39, Тел. (342) 215-01-70