



УДК 622/276+550.834(252.6)

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2020

ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СЕВЕРА ПЕРМСКОГО КРАЯ

Ю.М. Захаров, И.С. Путилов

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (614015, Россия, г. Пермь, ул. Пермская, 3а)

OBTAINING HIGH-QUALITY SEISMIC DATA IN THE WETLANDS IN THE NORTH OF PERM KRAI

Iurii M. Zakharov, Ivan S. Putilov

PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

Получена / Received: 14.02.2020. Принята / Accepted: 15.04.2020. Опубликовано / Published: 15.06.2020

Ключевые слова:

сейсморазведка, обработка, интерпретация, источник возбуждения, сейсмоприемник, сейсмограмма, взрывная скважина, заболоченные территории, обработка, Геотон, GS-ONE, GS-20 DX.

Рассматривается проблема получения достоверных сейсмических данных на заболоченных участках. Месторождения углеводородного сырья северных территорий Пермского края являются весьма перспективными активами, но достаточно сложны для геологического изучения, так как расположены в сложных поверхностных условиях. Сейсморазведка является наиболее детальным и достоверным дистанционным методом геологического изучения недр, но современные сейсмические 3D-съемки требуют покрывать сетью профилей значительно большую территорию на поверхности, чем занимает сам объект поиска в глубине. Заболоченные участки не только существенно ослабляют сейсмические волны, что приводит к получению сложных для дальнейшей геологической интерпретации данных, но и накладывают существенные ограничения на технические и методические аспекты изучения, а избежать влияния сложных поверхностных условий на территории площадью в сотни квадратных километров невозможно. С целью оценки возможностей получения качественных данных в подобных условиях были проведены расширенные опытные работы с применением различных типов регистрирующего и возбуждающего сейсмические волны оборудования. Представлен анализ и дана оценка возможности решения данной проблемы при помощи современных методик в области сейсморазведки. Исследование затронуло технологию получения первичных данных и этап обработки информации с целью ее дальнейшей геологической интерпретации. Рассмотрены такие новшества, как импульсный источник сейсмических колебаний «Геотон» и высокочувствительные сейсмоприемники «GS-ONE». В результате сделаны выводы о некотором преимуществе взрывного источника над импульсным, особенно непосредственно на толще болота, но одновременно отмечена высокая экологичность и безопасность источника «Геотон», что формирует возможность его широкого применения при сейсморазведочных работах в населенных пунктах. По результатам обработки данных опытных работ отмечено лучшее качество и детальность волновой картины, зарегистрированной одиночными сейсмоприемниками. В результате осуществленной работы выданы методические рекомендации для проведения сейсморазведочных работ в условиях заболоченности и на территориях с повышенными требованиями к экологичности и безопасности.

Key words:

seismic survey, processing, interpretation, excitation source, geophone, seismogram, blasthole, wetlands, processing, Geoton, GS-ONE, GS-20 DX.

The problem of obtaining reliable seismic data from water-logged areas is considered. Raw hydrocarbon deposits of the northern territories in Perm Krai are very promising assets, yet rather complex for geological study, as they are located in difficult surface conditions. Seismic surveying being the most detailed and reliable remote-sensing method of geological study of subsurface resources, the modern 3D seismic surveys require covering a much larger surface area with a survey grid than that occupied by the search object in depth. Wetlands significantly attenuate seismic waves, which results in obtaining the data that is complex for further geological interpretation, and also significantly constrain technical and methodological aspects of the research, while it is impossible to avoid the impact of difficult surface conditions in the area of hundreds of square kilometers. In order to estimate the possibility of obtaining high-quality data under such conditions, extensive test surveys were conducted using various types of seismic wave recording and excitation equipment. The analysis is presented and the possibility of solving this problem with the help of modern seismic survey methods is estimated. The study has touched upon the technology of obtaining primary data and the stage of processing the information for its further geological interpretation. Such innovative instruments as Geoton impulsive seismic vibrator and GS-ONE high-sensitivity geophones were reviewed. As a result, conclusions were made on certain advantage of an explosive energy source over an impulsive one, especially at wetland strata directly. At the same time, Geoton seismic vibrator features high ecological compatibility and safety, which allows for its wide application at seismic survey operations in populated areas. From the results of the test survey data processing, the best quality and detail level of the wave pattern recorded by single geophones has been noted. Following the findings of the conducted study, recommended practice guidelines have been given for seismic surveys in wetland conditions and at areas with high environmental and safety requirements.

Захаров Юрий Михайлович – ведущий геофизик центра сейсмических исследований (тел.: +007 952 332 69 42, e-mail: Zakharov_U@mail.ru). Контактное лицо для переписки
Путилов Иван Сергеевич – доктор технических наук, заместитель директора филиала по научной работе в области геологии (тел.: +007 342 364 58, e-mail: Ivan.Putilov@pnn.lukoil.com).

Iurii M. Zakharov – Lead Geophysicist of the Center for Seismic Research (tel.: +007 952 332 69 42, e-mail: Zakharov_U@mail.ru). The contact person for correspondence.
Ivan S. Putilov (Scopus ID 25723777700) – Doctor of Engineering, Deputy Director of the Branch for Scientific Work in the Field of Geology (tel.: +007 342 364 58, e-mail: Ivan.Putilov@pnn.lukoil.com).

Введение

Получение достоверных сейсмических данных на сложных для проведения сейсмических работ заболоченных участках является определенной проблемой. Особенности поведения волн деформации в не однородных по составу средах давно привлекают внимание специалистов геофизиков, геологов и даже строителей [1, 2]. Связан этот интерес с тем, что аномалии, вызванные влиянием данных сред, могут оказывать существенное влияние на волновую картину в целевых интервалах исследований. Специалисты отмечают, что в настоящее время поисковый интерес прикован к малоразмерным и малоамплитудным объектам, и искажающий фактор аномалий верхней части разреза (ВЧР) может изменить или вообще скрыть объект [3].

Стоит отметить, что существуют и активно применяются многочисленные методы учета аномалий ВЧР [4–8], однако, как показывает личный опыт автора, накопленный за 10 лет работы с сейсморазведочными данными различных регионов РФ, нередко встречаются аномалии такой силы, что полностью учесть их на этапе обработки не удастся, следовательно, необходимо максимально сократить их на этапе получения исходных данных – полевых сейсморазведочных работах [9].

Рассматриваемая проблема весьма актуальна для территории Пермского края, так как основная масса сейсморазведочных работ проводится с использованием малогабаритных буровых станков, которые не способны пробурить взрывные скважины глубиной более 10 м и тем самым исключить влияние толщи болот на формирование сейсмического сигнала. Кроме ослабления сигнала, в неоптимальных условиях возбуждения возникают интенсивные волны – помехи, наиболее значимые из которых – волны Релея и волны реверберации [10]. Использование более мощных станков не соответствует принятой в регионе экологосберегающей технологии проведения работ [11], которая не предусматривает рубку просек.

Материалы, методы исследования и анализ результатов

С целью анализа возможности улучшения качества получаемого в сложных поверхностных и геологических условиях материала были проведены опытно-производственные работы в Приволжском федеральном округе на территории Красновишерского района, в северной части Пермского края. Профиль МОГТ 2D проходил через болото (неблагоприятные поверхностные условия), по залесенному участку и через пойму р. Вильвы. Такое разнообразие поверхностных условий

позволило получить достаточно разнообразные данные для анализа.

Район работ расположен в весьма неблагоприятной сейсмогеологической зоне, которая характеризуется большой степенью искажения волновых полей, поглощением и рассеиванием сейсмической энергии, высоким уровнем интенсивных волн-помех [12]. Эффективность сейсморазведочных работ снижается за счет распространения на земной поверхности торфяной толщи мощностью более 3 м (является гасителем сейсмической энергии и служит источником повторных низкочастотных колебаний), глинисто-мергелистой толщи и известняков соликамского горизонта. Такие механические особенности оказывают большое влияние на формирование упругих волн [13]. На рис. 1 представлена глубинно-скоростная модель ВЧР с колонками литологии, демонстрирующими поверхностные и глубинные условия расположения опытного профиля. Верхняя часть разреза на протяжении профиля весьма неоднородна, выбранный участок характеризуется крайне разнообразными поверхностными и глубинными условиями, что отвечает поставленным перед опытно-производственными работами задачам.

Данные работы представляют практический интерес тем, что сложнодоступные участки, как правило, весьма плохо исследованы сейсморазведочными работами, а также имеют очень низкую плотность скважин, с проведенными в них геофизическими исследованиями. Получение недостоверных сейсмических данных в таких условиях может негативно повлиять на надежность рекомендаций по закладке скважин [14], что ведет к существенным финансовым рискам.

Регистрация сейсмического сигнала проводилась двумя линиями приема, использовались группы из 12 геофонов GS-20 DX на одной линии и одиночные сейсмоприемники GS-ONE на другой. Линии приема были размотаны рядом друг с другом в идентичных поверхностных условиях. При любом типе поверхностных условий сейсмическая запись, осуществленная с помощью сейсмоприемников GS-ONE, имеет отличия от данных, полученных при использовании геофонов GS-20 DX. В первом случае волновая картина отличается более широким диапазоном регистрируемых частот, но при этом имеет меньшие амплитуды (рис. 2) и осложнена влиянием помех, которые особенно видны в области микросейсм (рис. 3, а). Основным источником этих помех является ветер, и исключить его достаточно сложно при регистрации, но существуют мощные инструменты для его подавления в процессе обработки [15, 16]. Повышенная зашумленность связана с большей чувствительностью одиночных

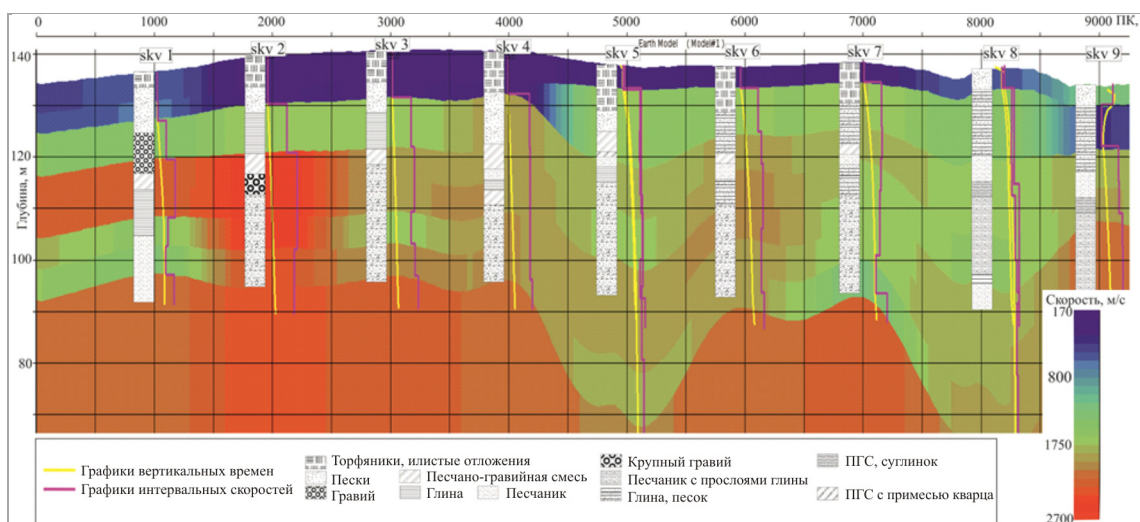


Рис. 1. Глубинно-скоростная модель ВЧР

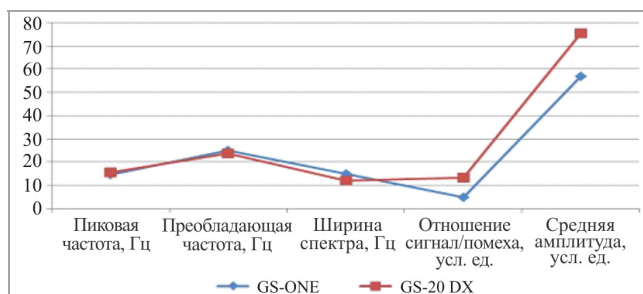


Рис. 2. График амплитудно-частотных характеристик сейсмоприемников GS-ONE и групп геофонов GS-20 DX

сейсмоприемников GS-ONE, которая составляет 78,7 (В/м/с) против 19,7 (В/м/с) у одного прибора GS-20DX [17]. Более высокий уровень амплитуд при использовании группы геофонов (рис. 3, б) достигается за счет статистического эффекта группы [18, 19]. Эффект ослабления волн-помех поверхностного типа применением группирования в данных условиях в полной мере не был достигнут. Вероятно, вследствие сложного строения ВЧР, флуктуации кинематических и динамических параметров полезных волн и помех группа геофонов как интерференционная система не обеспечила достаточной степени подавления интенсивных волн-помех.

Связано это с тем, что данная технология подавления волн-помех создавалась как система, настраиваемая под особенности характеристик полей упругих колебаний, которые не постоянны регионально [20, 21, 22]. Применение группирования сейсмоприемников с постоянными параметрами не только снижает вероятность подавления волн-помех, но и искажает их при регистрации, что весьма недальновидно, учитывая существующие методики интерпретации поверхностных волн [23].

Надо отметить, что использование одиночных сейсмоприемников значительно облегчает размотку и смотку полевого оборудования, так как вес и размер

сейсмоприемников GS-ONE существенно меньше (около 0,2 кг против почти 2,0 кг у GS-20 DX), что позволяет использовать персонал сейсмической партии более эффективно, а значит, в целом повысить производительность и снизить затраты при проведении полевых работ [24].

На этапе обработки сейсмических данных будут рассмотрены временные разрезы, полученные при помощи одиночных сейсмоприемников, но дальнейший анализ первичных сейсмических данных будет представлен по материалам, полученным при помощи геофонов GS-20 DX, так как волновая картина, наблюдаемая при их использовании, более выразительна и наглядна.

Для возбуждения сейсмического сигнала на опытном профиле использовалась традиционная методика с малоглубинным бурением (до 10 м) и технология заложения заряда ниже подошвы зоны малых скоростей (ЗМС) на глубину 20 и 30 м. Кроме этого, в качестве источника возбуждения колебаний применен малогабаритный импульсный источник «Геотон-15», который представляет собой новое поколение импульсных источников, отвечающих требованиям, необходимым для экологосберегающих работ.

В южной, сухопутной части профиля на глубине свыше 25 м залегают песчано-гравийные отложения, такие условия оказывают негативное влияние на возбуждение сейсмического сигнала, что отразилось на волновой картине, полученной при размещении заряда на глубине 30 м. По сравнению с сейсмограммой, зарегистрированной с 20-метровой глубины заложения заряда, она имеет более низкие амплитудно-частотные характеристики. Различие между записями с глубины 20 и 8 м минимально. На сейсмограмме, полученной из 8-метровой скважины, более выраженный цуг звуковой волны, что несколько сузило частотный диапазон, но его исключение не составляет труда на

этапе обработки сейсмических данных. На рис. 4 (I) приведены амплитудно-частотные характеристики сейсмических записей, полученных в ходе работ на сухопутной части профиля, где видно, насколько быстро затухает сейсмический сигнал при его возбуждении с 30-метровой глубины.

В центральной заболоченной части профиля на записи, полученной при возбуждении сигнала на глубине 30 м, заметно продолжение влияния песчаных отложений на амплитудно-частотные характеристики сигнала (рис. 4, II а), хоть и в меньшей степени, чем в лесной части. Запись, полученная с глубин 20 и 8 м, различается по частотному составу: с 8 м получен более узкий спектр, что связано с влиянием низкочастотных волн-помех, интенсивность которых увеличивается с уменьшением глубины заложения заряда.

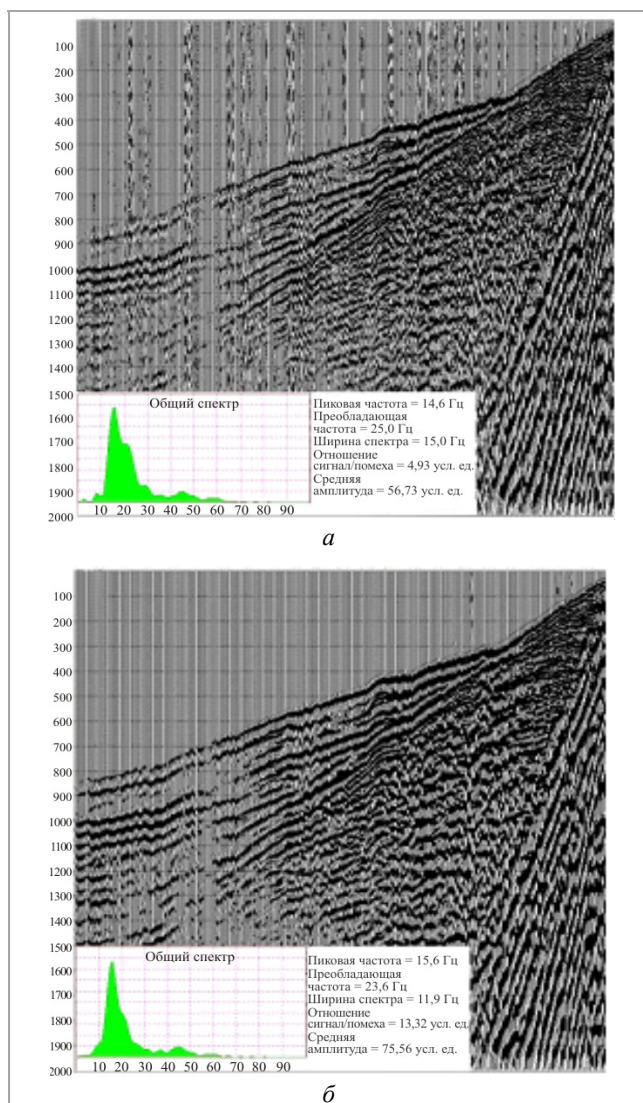


Рис. 3. Волновая картина, зарегистрированная при помощи одиночных сейсмоприемников GS-ONE (а) и групп геофонов GS-20 DX (б)

По данным рис. 4 (II, б, в) можно проследить влияние низкочастотной составляющей записи на общую волновую картину, спектр сужается.

На основании оценки первичных сейсмических данных сделан вывод, что погружение заряда ниже подошвы ЗМС не всегда оправданно – большее влияние на формирование сейсмического сигнала оказывают непосредственно литологические условия размещения заряда, чем глубина его погружения.

Для получения надежных и качественных полевых данных в условиях заболоченной местности необходимо иметь четкое представление о глубине дна болота, так как главным условием является размещение заряда в плотных породах. Соблюдение этих параметров, кроме создания благоприятных условий для возбуждения сейсмического сигнала, позволит избежать возможного всплытия заряда, что недопустимо правилами безопасности при взрывных работах [25].

Описанная ситуация говорит о высокой степени латеральной неоднородности ВЧР, что ставит перед сейсморазведкой еще одну задачу: детальный прогноз литологического состава ВЧР с целью определения оптимальной глубины заложения заряда. Достаточно достоверным методом необходимого прогноза являются исследования микросейсмокаротаж, но проводить их с высокой плотностью экономически неэффективно, обычно используется сеть с плотностью одна скважина на 1 км², что не дает детального представления о латеральной изменчивости ВЧР.

В последние годы набирает популярность комплексирование сейсморазведочных работ с методами электроразведки, и один из этих методов полагаем весьма перспективным. Речь идет о непрерывном электромагнитном сканировании (ЭМС) разреза методом становления поля во временной области и георадиолокационном профилировании (ГРЛП) методом георадиолокации. [26, 27]. Результаты, полученные по данной технологии, подтверждают возможность применения и эффективность метода для исследования ВЧР.

Как альтернативу для работ на территории болот рассмотрим импульсный источник сейсмических колебаний «Геотон-15». Он обладает малыми габаритами, имеет относительно небольшой вес, не создает существенных деформаций грунта при использовании и удобен для транспортировки как в группе, так и поодиночке, что позволяет применять его в эксклюзивных зонах, таких как: акватории различных типов, зоны экологических ограничений, населенные пункты, промышленные зоны. Стоит отметить, что специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» разработана эффективная система для проведения сейсморазведочных работ в акваториях, донное бурение со льда в зимний период [28]. Но, как отмечают авторы методики [29], в русловых частях акваторий, где толщина водного слоя превышает 10 м, применение данной технологии невозможно.

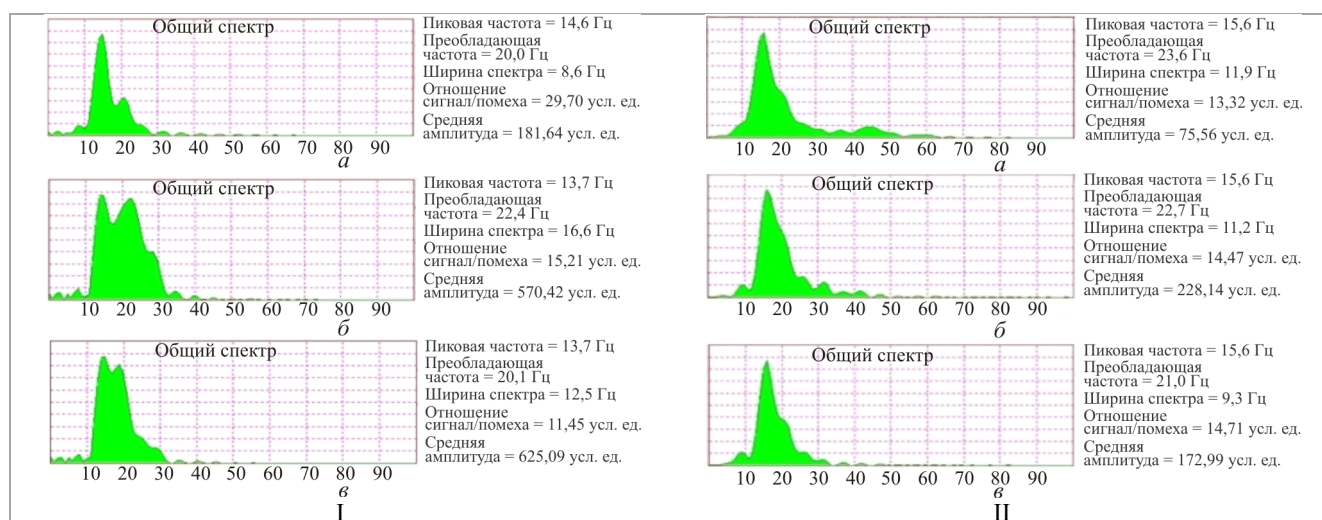


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики записей, полученных в результате взрыва: I – на суше в скважине глубиной 30 м (а), 20 м (б) и 8 м (в); II – в болоте в скважине глубиной 30 м (а), 20 м (б) и 8 м (в)

Источник «Геотон» используется практически на любых территориях [30]. ООО «Славнефть-НПЦ» показало уникальный опыт их применения для возбуждения сейсмического сигнала в ходе проведения сейсморазведочных работ МОГТ 3D на Восточно-Локосовской площади в весьма сложных поверхностных условиях, включающих основное русло и пойму реки Обь. Применение импульсных источников позволило максимально снизить нерегулярность фактически отработанных систем наблюдения. На участках ледовых покрытий были успешно использованы источники «Геотон» [31]. Следует отметить, что группа источников, буксируемая вездеходом, все же имеет некоторые ограничения по минимальной толщине льда, так как масса ее достигает 10 т. Это существенно меньше крупногабаритных источников типа «Енисей» [32], но достаточно много в условиях теплой зимы, что в последние годы не редкость. Вопрос о возможности создания еще более легких источников периодически поднимается исследователями, однако создание достаточно мощного для исследования глубин свыше 1 км импульса требует соответствующей массы источника [33–36].

В ходе данных работ источник «Геотон» применялся впервые в Пермском крае. Волновая картина, зарегистрированная в результате воздействий на сухопутной части площади, весьма отлична от наблюдений на болоте. На суше получены данные, сопоставимые с взрывными, первые вступления четкие, фрагменты отраженных волн видны на первичном материале (рис. 5, а). Запись, зарегистрированная в условии болота, осложнена мощными низкочастотными волнами-помехами, которые связаны с нестабильной ледяной толщиной поверхности болота и вызваны эффектом «раскачивания» поверхности в процессе воздействий источника (рис. 5, б).

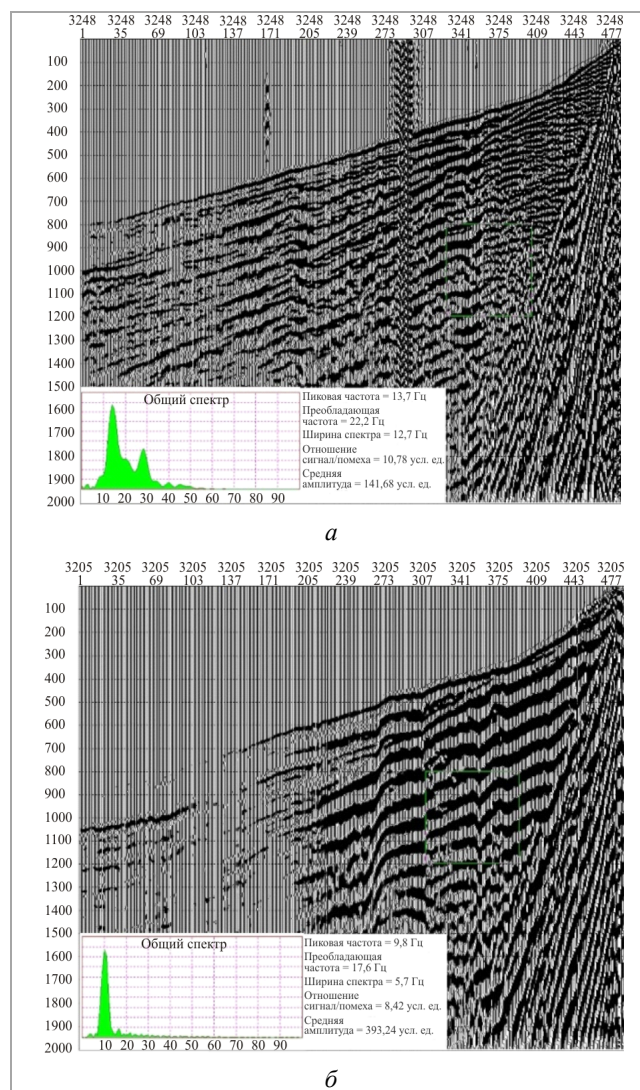


Рис. 5. Сейсмическая запись, зарегистрированная в результате возбуждения сигнала группой из 16 импульсных источников «Геотон-15» на суше (а) и в болоте (б)

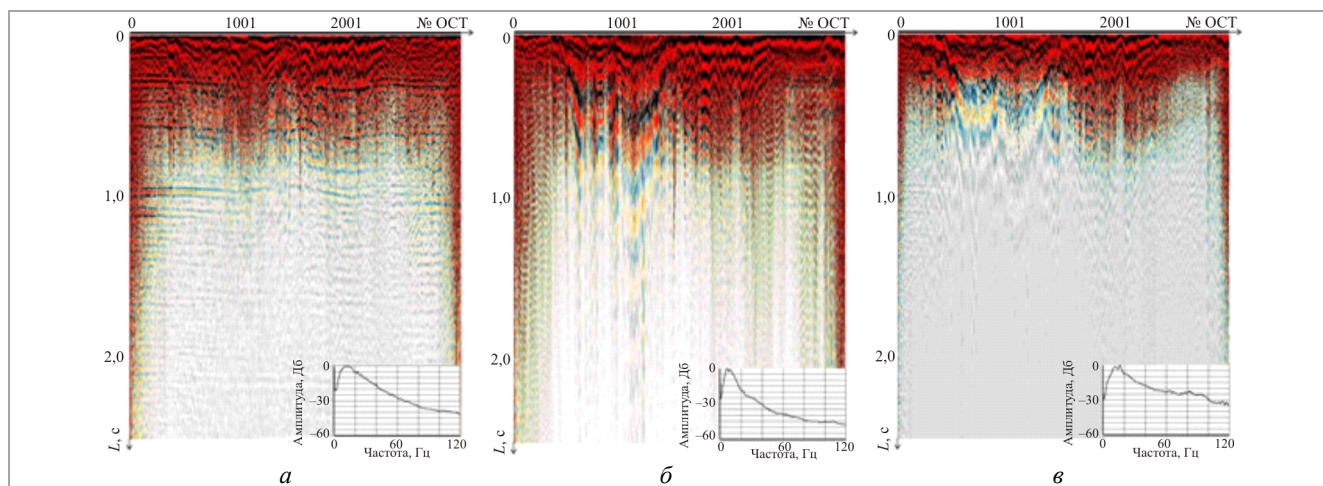


Рис. 6. Априорные временные разрезы. Взрыв в скважине глубиной 20 м (а), 8 м (б) и данные импульсного источника «Геотон» (в)

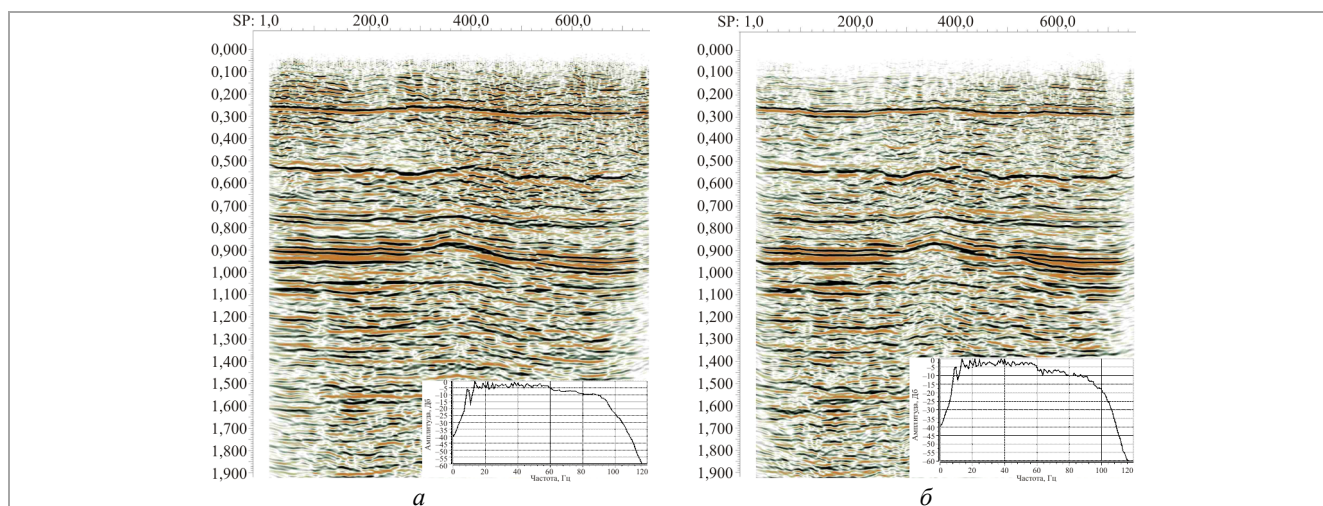


Рис. 7. Временные разрезы: взрыв в скважине глубиной 20 м (а) и 8 м (б)

Однако сейсморазведка является сложным, поэтапным процессом и получение первичных данных – это только первая ступень. Широко известный в области сейсморазведочных исследований А.В. Череповский в своей книге «Наземная сейсморазведка нового технологического уровня» высказался очень точно по этому поводу: «Многие геофизики придерживаются старого постулата: “Если сигнала нет (не видно) на исходных данных, то его не будет и на окончательных разрезах”. Но этот постулат пора поставить под сомнение» [37].

Априорные временные разрезы (суммированные, но до обработки), полученные взрывным источником, расположенным ниже подошвы ЗМС, имеют наилучшее качество суммирования; отражения коррелируются практически на всем интервале записи.

На априорных разрезах, полученных взрывным источником с глубины 8 м, наблюдается значительное влияние волн-помех (особенно в болотистой части профиля).

Самое низкое качество суммирования и практически полное отсутствие отражений в целевых интервалах получены на временных разрезах с импульсным источником (рис. 6, в).

Как уже было сказано, делать твердые выводы о качестве сейсмических данных, пренебрегая результатами обработки материалов, неразумно, ведь цель обработки – это извлечение полезной информации из полевых сейсмических данных. Принципиальной основой обработки сейсмических данных служит решение обратных задач. Обратной задачей в сейсморазведке называют определение строения сейсмогеологической среды по наблюдениям возникающего в ней поля упругих волн [38, 39].

Низкое качество априорных сумм связано с влиянием поверхностных волн-помех, которые отличаются низкими частотами и большими амплитудами. На окончательном этапе обработки для всех источников возбуждения временные разрезы показали качество, пригодное для дальнейшей

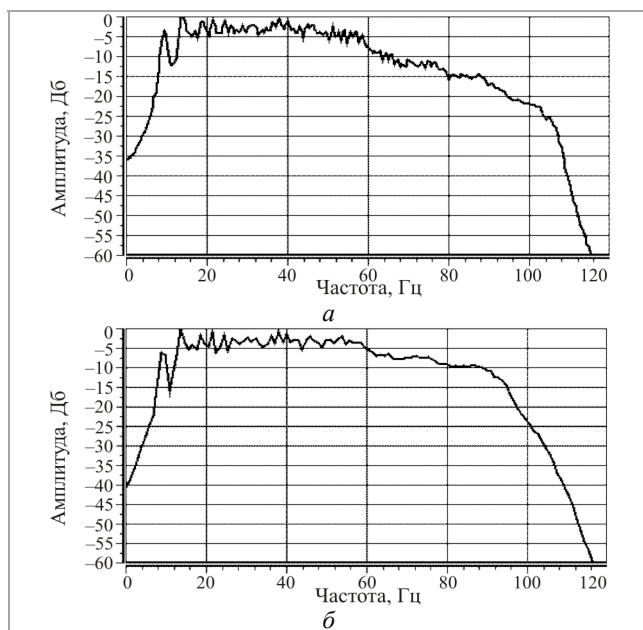


Рис. 8. Частотные спектры временных разрезов, полученные при возбуждении сигнала импульсным источником (а) и взрывным (б)

интерпретации. Безусловно, достижение такого результата требует детального контроля выполнения обработки [40, 41].

Наиболее качественный материал с точки зрения особенностей волнового поля (более высокая когерентность и разрешенность записи на временных разрезах) по результатам обработки получен при использовании взрывных источников возбуждения. При этом для глубин заложения заряда 8 и 20 м разрезы в целом сопоставимы (рис. 7).

Временной разрез с импульсным источником возбуждения уступил взрывному источнику, показав более низкую частотность и меньшую детальность (рис. 8), поэтому может быть ограничен в возможностях интерпретации малых объектов [42].

Тем не менее, благодаря своим техническим особенностям, простоте и безопасности в эксплуатации импульсный источник «Геотон» выглядит привлекательным альтернативным источником возбуждения сейсмического сигнала. В ходе данного исследования и общения с представителем компании, производящей источник, были выяснены некоторые нюансы, которые, возможно, помогут повысить частотный диапазон создаваемых упругих волн, тем самым оптимизировав возможности детализации волновой картины.

Что касается влияния группирования сейсмоприемников и одиночных геофонов на волновую картину, то в условиях настоящих работ наблюдается небольшая разница в точности прослеживания отражающих горизонтов. Для одиночных приемников характерно более детальное выделение малоразмерных объектов и

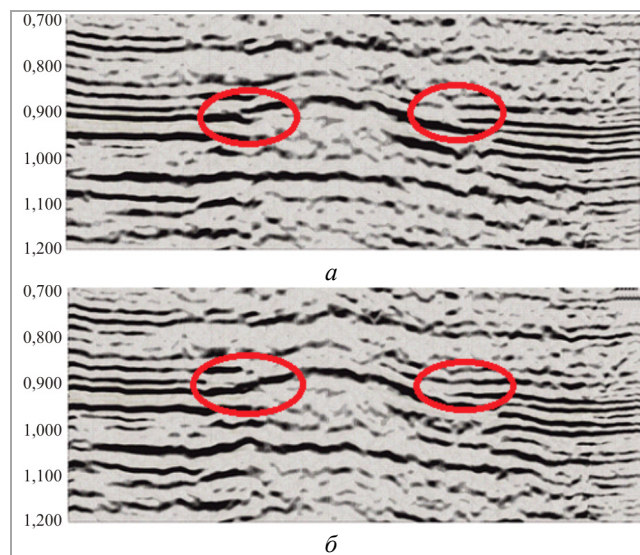


Рис. 9. Временные разрезы, построенные по данным, полученным с использованием геофонов GS-20 DX (а) и одиночных сейсмоприемников GS-ONE (б)

малоамплитудных нарушений (рис. 9). Стоит отметить, что для одиночных приемников, размещенных достаточно плотно (шаг 10–12 м), доступна процедура лабораторного группирования, эффективность данного метода отмечали многие исследователи [43–45].

Заключение

1. Временные разрезы, полученные с различными источниками возбуждения, имеют практически 100%-ную прослеживаемость целевых отражений после процедур обработки, но преимущество в детальности и разрешенности у взрывного источника.

2. После применения всего комплекса процедур обработки данных разрезы с взрывным источником возбуждения в скважине глубиной 8 и 20 м по качеству целевых отражений сравнялись, следовательно, бурить глубокие скважины, которые требуют гораздо больших финансовых и временных затрат, нецелесообразно; при этом при выборе глубины погружения заряда особое внимание требуется уделять анализу литологических особенностей ВЧР.

3. Целесообразно предварительное изучение строения ВЧР альтернативными сейсморазведке методами, высокие результаты показала методика ЭМС и ГРЛП. Детальное представление о литологическом строении ВЧР позволит избежать размещения заряда в неблагоприятных условиях и исключить заглубление сверх необходимого.

4. Импульсными источниками получены менее разрешенные и детальные временные разрезы, тем не менее, учитывая сложность сейсмогеологической

зоны, отсутствие опыта их использования в поле и новизну подобного материала для обработки, применение их в производстве автор считает целесообразным, особенно в зонах с повышенными требованиями к экологичности и безопасности.

5. Одиночные сейсмоприемники показали конечный результат, сопоставимый с таковым при использовании групп геофонов: преимущество первых заключается в том, что временные разрезы, полученные с их применением, выглядят более детально, а несомненное удобство и легкость полевого оборудования позволяет существенно понизить трудозатраты на его размотку.

Благодарность

Автор статьи благодарит ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» за возможность проведения опытных работ и ПАО «Пермнефтегеофизика» за проведение производственного цикла работ.

Библиографический список

1. Ляхов Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Стройиздат, 1981. – 319 с.
3. Нанишвили О.А. Учет неоднородностей верхней части разреза (ВЧР) при обработке сейсморазведочных данных // Вестник Югорского государственного университета. – 2017. – Вып. 4. – С. 17.
4. Козырев В.С. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2003. – 227 с.
5. Митюнина И.Ю. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза // Геофизика. – 2003. – № 5. – С. 5–12.
6. Спасский Б.А. Изучение ВЧР по первым вступлениям в МОГТ // Региональная, разведочная и промысловая геофизика. ЭИ ВИЭМС. – М., 1982. – Вып. №19. – С. 1–13.
7. Спасский Б.А. О повышении эффективности расчета статических поправок в МОГТ // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. – Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1984. – С. 36–44.
8. Спасский Б.А. Использование первых волн в сейсморазведке методом отраженных волн для изучения верхней части разреза. – М.: Геоинформмарк, 1992. – С. 46.
9. Pritchett W.C. Acquiring better seismic data. – Springer Netherlands, 1990. – P. 428.
10. Долгих Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2014. – С. 54.
11. Лаптев А.П., Саловский В.А., Ланцев В.Ф. Транспортабельный комплекс для проведения трехмерных сейсморазведочных работ 3D: патент на полезную модель 61894. – М.: РОСПАТЕНТ, 2006.
12. Неганов В.М. Сейсмогеологическое районирование Пермского края в связи с совершенствованием методики дальнейших геофизических работ на нефть и газ: дис. ... канд. геол.-мин. наук / ОАО ПНГ. ФГУДП «КамНИИКИГС». – Пермь, 2006. – 174 с.
13. Череповский В.Е., Жгетин С.А. Изучение верхней части разреза и выбор условий взрывного возбуждения для сейсморазведки высокого разрешения // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1985. – № 100.
14. Schut E.W., Uenzelmann-Neben G. Tying seismic data to geologic information from core data // GEO-MARINE LETTERS. – 2006. – Vol. 26, № 4. – P. 235–248.
15. Guanghai L., Yue L., Baojun Y. Effect of wind on seismic exploration random noise on land: Modeling and analyzing // Journal of Applied Geophysics. – 2015. – Vol. 119. – P. 106–118.
16. Random noise suppression for seismic data using a non-local Bayes algorithm / D.K. Chang, W.Y. Yang, Y.H. Wang, Q. Yang, X.J. Wei, X.Y. Feng // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 15. – P. 91–98.
17. Shi Jung Chen, Ch. Dalton. Theoretical and experimental approaches to the geophone spurious frequency // Geophysical Prospecting. – November, 2015. – Vol. 31, iss. 4.
18. Гольцман Ф.М. Основы теории интерференционного приема регулярных волн. – М.: Наука, 1964. – С. 283.
19. Hales F.W., Edwards T.E. Some theoretical considerations on the use of multiple geophones arranged linearly along the line of traverse // Geophysical Prospecting. – 1955. – Vol. 3, iss. 1.
20. Шестаков Э.С., Веселов Н.А. Оценка направленных свойств сложных интерференционных систем, формирующихся при проведении сейсморазведочных работ МОВ // Недра Поволжья и Прикаспия. – Саратов, 2018. – Вып. № 93. – С. 62–72.
21. Inversion-based directional deconvolution to remove the effect of a geophone array on seismic signal / Li Guofa, Zheng Hao, Wang Jingjing, Huang Wei // Journal of Applied Geophysics. – 2016. – Vol. 130. – P. 91–100.
22. Giancarlo Dal Moroa, Rui Miguel Marques Moura, Sayed S.R. Moustafacd multi-component joint analysis of surface waves // Journal of Applied Geophysics. – 2015. – Vol. 119. – P. 128–138.

23. Opportunities and pitfalls in surface-wave interpretation / T. Schuster Gerard, Li Jing, Lu Kai, Metwally Ahmed, AlTheyab Abdullah, Hanafy Sherif // *Interpretation*. – 2017. – Vol. 5, iss. 1. – P. 1F–T141.
24. Yibirin R., Lacruz A., Caldwell J. Сравнение результатов полевых испытаний геофонов при выполнении сейсморазведочных работ по методике 2D в Колумбии // *Приборы и системы разведочной геофизики*. – 2013. – Вып. № 43. – С. 60–64.
25. Безопасность при взрывных работах: сборник нормативных документов. – М.: Изд-во ЗАО НТЦ ПБ, 2012. – С. 81.
26. Прогнозирование оптимальных условий размещения заряда при сейсморазведочных работах в Западной Сибири с использованием электромагнитного сканирования во временной области / С.М. Рябошапка, Н.Н. Цыпышев [и др.] // *Приборы и системы разведочной геофизики*. – 2014. – № 4. – С. 70–83.
27. Судакова М.С., Владов М.Л. Современные направления георадиолокации // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. – 2018. – № 2. – С. 3–12.
28. Лаптев А.П., Саловский В.А., Ланцев В.Ф. Способ сейсмической разведки: патент на изобретение № 2369882. – М.: РОСПАТЕНТ, 2006.
29. Лаптев А.П., Рошмаков Ю.В. Сейсморазведка МОГТ 3D в зимних условиях на нижекамском водохранилище // *Геофизика*. – 2013. – № 5. – С. 34.
30. Юров А.А., Лопухов Г.П., Гурьев С.В. Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения // *Приборы и системы разведочной геофизики*. – 2013. – № 3. – С. 49–53.
31. Сафаров Ю.Н., ООО «Славнефть-НПЦ». Опыт применения импульсных источников «ЕНИСЕЙ» и «ГЕОТОН» при сейсморазведочных работах на лицензионных участках ОАО «НГК «Славнефть» // *Приборы и системы разведочной геофизики*. – 2015. – № 47. – С. 37.
32. Детков В.А. Импульсные невзрывные источники сейсморазведки с электромагнитным приводом // *Сибирский журнал науки и технологий*. – 2009. – С. 119–122.
33. Seismic sources for shallow investigations: A field comparison from Northern Germany / R. Herbst, I. Kapp, H. Krummel, E. Lück // *Journal of Applied Geophysics*. – 1998. – Vol. 38, iss. 4. – P. 301–317.
34. Ивашин В.В., Ианников Н.А. К вопросу создания переносных импульсных невзрывных сейсмоисточников с индукционно-динамическим приводом // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – Самара, 2013. – С. 75–80.
35. Sawasdee Yordkayhun, Jumras Na Suwan. A university-developed seismic source for shallow seismic surveys // *Journal of Applied Geophysics*. – 2012. – Vol. 82. – P. 110–118.
36. Mohamed A. Rashed. GDP: A new source for shallow high-resolution seismic exploration // *Journal of Applied Geophysics*. – 2009. – Vol. 68, iss. 2. – P. 243–248.
37. Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2016. – С. 27.
38. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: учеб. для вузов. – Тверь: Изд-во АИС, 2006. – С. 369.
39. Бондарев В.И. Сейсморазведка: учеб. для вузов. – Екатеринбург: Изд-во Уральск. гос. горн. ун-та, 2007. – С. 703.
40. Araman A., Paternoster B. Seismic quality monitoring during processing // *FIRST BREAK*. – 2014. – Vol. 32. – P. 69–78.
41. Феоктистов А.В., Феоктистов В.А. Зачем нужен супервайзер? // *Недра Поволжья и Прикаспия*. – 2010. – Вып. 62. – С. 67–75.
42. Особенности геологоразведочных работ в районах с высокой освоенностью недр (на примере Республики Татарстан) / Р.С. Хисамов, Н.С. Гатиятуллин, Е.А. Тарасов, В.Б. Либерман // *Георесурсы*. – 2008. – Вып. 27. – С. 26–28.
43. Bagaini C., Barajas Olalde C. Assessment and compensation of inconsistent coupling conditions in point receiver land seismic data // *Geophysical Prospecting*. – 2007. – Vol. 55, iss. 1.
44. Михеев С.И., Селезнёв В.А., Зуб Е.А. Новые Техничко-методические приёмы полевых сейсморазведочных работ // *Недра Поволжья и Прикаспия*. – 2014. – Вып. 79. – С. 30–39.
45. Кострыгин Ю.П., Кострыгина А.А. Группирование сейсмоприёмников и сейсмических излучателей: учеб. пособие; Изд-во Кубан. гос. ун-та. – Краснодар, 2018. – С. 58.

References

1. Liakhov G.M. Volny v gruntakh i poristyykh mnogokomponentnykh sredakh [Waves in soils and porous multicomponent media]. Moscow: Nauka, 1982, 288 p.
2. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniia i fundamenti [Soil mechanics, foundations and foundations]. Moscow: Stroizdat, 1981, 319 p.
3. Nanishvili O.A. Uchet neodnorodnostei verkhnei chasti razreza (VChR) pri obrabotke seismorazvedochnykh dannykh [The accounting of inhomogeneity the upper part in the processing of seismic data]. *Vestnik Iugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, iss. 4, p. 17.

4. Kozyrev V.S. Uchet neodnorodnostei verkhnei chasti razreza v seismorazvedke. Sovremennye tekhnologii [Taking into account heterogeneities of the upper part of the section in seismic exploration. Modern technologies]. Moscow: Nedra-Biznestsentr, 2003, 227 p.
5. Mitiunina I.Iu. Pervye volny na seismogramakh MOV i izuchenie verkhnei chasti razreza [The first waves in the seismograms of the MOV and the study of the upper part of the section]. *Geofizika*, 2003, no. 5, pp. 5-12.
6. Spasskii B.A. Izuchenie VChR po pervym vstupleniiam v MOGT [The study of VLD on the first entry into the IOGT]. *Regional'naiia, razvedochnaia i promyslovaia geofizika*, 1982, iss. 19, pp. 1-13.
7. Spasskii B.A. Izuchenie VChR po pervym vstupleniiam v MOGT [On increasing the efficiency of calculating static corrections in the IOGT]. *Geofizicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdenii nefiti i gaza*. Perm, 1984, pp. 36-44.
8. Spasskii B.A. Ispol'zovanie pervykh voln v seismorazvedke metodom otrazhennykh voln dlia izucheniia verkhnei chasti razreza [The use of the first waves in seismic exploration by the method of reflected waves to study the upper part of the section]. Moscow: Geoinformmark, 1992, p. 46.
9. Pritchett W.C. Acquiring Better Seismic Data. Springer Netherlands, 1990, 428 p.
10. Dolgikh Iu.N. Mnogourovnevaia seismorazvedka i kinematicheskaiia inversiia dannykh MOV-OGT v usloviakh neodnorodnoi VChR [Multilevel seismic exploration and kinematic inversion of MOV-OGT data in the conditions of non-uniform RF]. Moscow: EAGE Geomodel', 2014, p. 54.
11. Laptev A.P., Salovskii V.A., Lantsev V.F. Transportabel'nyi kompleks dlia provedeniia trekhmernykh seismorazvedochnykh rabot 3D [Transportable complex for carrying out three-dimensional 3D seismic operations]. Patent Rossiiskaiia Federatsiia no. 61894, 2006.
12. Neganov V.M. Seismogeologicheskoe raionirovanie Permskogo kraia v sviazi s sovershenstvovaniem metodiki dal'neishikh geofizicheskikh rabot na nefit' i gaz [Seismogeological zoning of the Perm Territory in connection with the improvement of the methodology for further geophysical work on oil and gas]. Ph. D. thesis. Perm, OAO PNG. FGUDP "KamNIKIGS", 2006, 174 p.
13. Cherepovskii V.E., Zhgetin S.A. Izuchenie verkhnei chasti razreza i vybor uslovii vzryvnogo vozbuzhdeniia dlia seismorazvedki vysokogo razresheniia [The study of the upper part of the section and the choice of explosive excitation conditions for high-resolution seismic surveys]. *Razvedochnaia geofizika*. Moscow: Nedra, 1985, no. 100.
14. Schut E.W., Uenzelmann-Neben G. Tying seismic data to geologic information from core data. *GEO-MARINE LETTERS*, 2006, vol. 26, no. 4, pp. 235-248.
15. Guanghui L., Yue L., Baojun Y. Effect of wind on seismic exploration random noise on land: Modeling and analyzing. *Journal of Applied Geophysics*, 2015, vol. 119, pp. 106-118.
16. Chang D.K., Yang W.Y., Wang Y.H., Yang Q., Wei X.J., Feng X.Y. Random noise suppression for seismic data using a non-local Bayes algorithm. *Journal of Applied Geophysics*, 2018, vol. 15, pp. 91-98.
17. Shi Jung Chen, Ch. Dalton. Theoretical and experimental approaches to the geophone spurious frequency. *Geophysical Prospecting*. November, 2015, vol. 31, iss. 4.
18. Gol'tsman F.M. Osnovy teorii interferentsionnogo priema reguliarnykh voln [Fundamentals of the theory of interference reception of regular waves]. Moscow: Nauka, 1964, 283 p.
19. Hales F.W., Edwards T.E. Some theoretical considerations on the use of multiple geophones arranged linearly along the line of traverse. *Geophysical Prospecting*, 1955, vol. 3, iss. 1.
20. Shestakov E.S., Veselov N.A. Otsenka napravlenykh svoistv slozhnykh interferentsionnykh sistem, formiruiushchikhsia pri provedenii seismorazvedochnykh rabot MOV [Evaluation of the directed properties of complex interference systems formed during seismic exploration of the MOV]. *Nedra Povolzh'ia i Prikaspiia*. Saratov, 2018, no. 93, pp. 62-72.
21. Guofa Li, Hao Zheng, Jingjing Wang, Wei Huang Inversion-based directional deconvolution to remove the effect of a geophone array on seismic signal. *Journal of Applied Geophysics*, 2016, vol. 130, pp. 91-100.
22. Giancarlo Dal Moroa, Rui Miguel Marques Moura, Sayed S.R. Moustafac Multi-component joint analysis of surface waves. *Journal of Applied Geophysics*, 2015, vol. 119, pp. 128-138.
23. Schuster Gerard T., Jing Li, Kai Lu, Ahmed Metwally, Abdullah AlTheyab, Sherif Hanafy. Opportunities and pitfalls in surface-wave interpretation. *Interpretation*, 2017, vol. 5, iss. 1, pp. 1F-T141.
24. Yibirin R., Lacruz A., Caldwell J. Sravnenie rezul'tatov polevykh ispytaniia geofonov pri vypolnenii seismorazvedochnykh rabot po metodike 2D v Kolumbii [Comparison of field test results for geophones when performing 2D seismic surveys in Colombia]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*, 2013, vol. 43, no. 1(43), pp. 60-64.
25. Bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh: sbornik normativnykh dokumentov [Blasting Safety: A Collection of Regulatory Documents]. Moscow: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-tekhnicheskii tsentr issledovaniia problem promyshlennoi bezopasnosti", 2012, 81 p.

26. Riaboshapko S.M., Tsypyshev N.N. et al. Prognostirovanie optimal'nykh uslovii razmeshcheniia zariada pri seismorazvedochnykh rabotakh v Zapadnoi Sibiri s ispol'zovaniem elektromagnitnogo skanirvaniia vo vremennoi oblasti [Prediction of optimal conditions for the charge placement during seismic operations in western siberia using electromagnetic scanning in the time domain]. *Priory i sistemy razvedochnoi geofiziki*, 2014, no. 4, pp. 70-83.
27. Sudakova M.S., Vladov M.L. Sovremennye napravleniia georadiolokatsii [The influence of conductivity on the reflected ground penetrating radar signal amplitude]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geologiya*, 2018, no. 2, pp. 3-12.
28. Laptev A.P., Salovskii V.A., Lantsev V.F. Sposob seismicheskoi razvedki [Seismic exploration method]. Patent Rossiiskaia Federatsiia, no. 2369882, 2006.
29. Laptev A.P., Roshmakov Iu.V. Seismorazvedka MOGT 3D v zimnikh usloviakh na nizhnetskamskom vodokhranilishche [3D seismic survey in winter on the reservoir of nizhnetskamsk]. *Geofizika*, 2013, no. 5, 34 p.
30. Iurov A.A., Lopukhov G.P., Gur'ev S.V. Impul'snyi elektromagnitnyi istochnik "Geoton-15". Opyt prakticheskogo primeneniia [Pulsed electromagnetic source "Geoton-15". Practical experience]. *Priory i sistemy razvedochnoi geofiziki*, 2013, no. 3, pp. 49-53.
31. Safarov Iu.N., OOO "Slavneft'-NPTs". Opyt primeneniia impul'snykh istochnikov "ENISEI" i «GEOTON» pri seismorazvedochnykh rabotakh na litsenzionnykh uchastkakh OAO "NGK "Slavneft" [Experience with the use of impulse sources "YENISEY" and "GEOTON" during seismic surveys in the licensed areas of OAO NGK Slavneft]. *Priory i sistemy razvedochnoi geofiziki*, 2015, no. 47, 37 p.
32. Detkov V.A. Impul'snye nevzryvnye istochniki seismorazvedki s elektromagnitnym privodom [Pulsed explosive sources of prospecting seismology With electromagnetic drive]. *Sibirskii zhurnal nauki i tekhnologii*, 2009, pp. 119-122.
33. Herbst R., Kapp I., Krummel H., Lück E. Seismic sources for shallow investigations: A field comparison from Northern Germany. *Journal of Applied Geophysics*, 1998, vol. 38, iss. 4, pp. 301-317.
34. Ivashin V.V., Iannikov N.A. K voprosu sozdaniia perenosnykh impul'snykh nevzryvnykh seismoistochnikov s induktsionno-dinamicheskim privodom [To question about the creation a portable pulse of non explosive seismic source with electrodynamic drive]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Samara*, 2013, pp. 75-80.
35. Sawasdee Yordkayhun, Jumras Na Suwan. A university-developed seismic source for shallow seismic surveys. *Journal of Applied Geophysics*, 2012, vol. 82, pp. 110-118.
36. Mohamed A. Rashed. GDP: A new source for shallow high-resolution seismic exploration. *Journal of Applied Geophysics*, 2009, vol. 68, iss. 2, pp. 243-248.
37. Cherepovskii A.V. Nazemnaia seismorazvedka novogo tekhnologicheskogo urovnia [Ground-based seismic exploration of a new technological level]. Moscow: EAGE Geomodel', 2016, 27 p.
38. Boganik G.N., Gurvich I.I. Seismorazvedka [Seismic exploration]. Tver: AIS, 2006, 369 p.
39. Bondarev V.I. Seismorazvedka [Seismic exploration]. Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet, 2007, 703 p.
40. Araman A., Paternoster B. Seismic quality monitoring during processing. *FIRST BREAK*, 2014, vol. 32, pp. 69-78.
41. Feoktistov A.V., Feoktistov V.A. Zachem nuzhen supervaizer? [Why do I need a supervisor?]. *Nedra Povolzh'ia i Prikaspiia*, 2010, iss. 62, pp. 67-75.
42. Khisamov R.S., Gatiatullin N.S., Tarasov E.A., Liberman V.B. Osobennosti geologorazvedochnykh rabot v raionakh s vysokoi osvoennost'iu nedr (na primere Respubliki Tatarstan) [Geological exploration in the highly explored regions of Tatarstan]. *Georesursy*, 2008, iss. 27, pp. 26-28.
43. Bagaini C., Barajas Olalde C. Assessment and compensation of inconsistent coupling conditions in point receiver land seismic data. *Geophysical Prospecting*, 2007, vol. 55, iss. 1.
44. Mikheev S.I., Seleznev V.A., Zub E.A. Novye Tekhniko-metodicheskie priemy polevykh seismorazvedochnykh rabot [New Technological and methodological techniques for field seismic surveys]. *Nedra Povolzh'ia i Prikaspiia*, 2014, iss. 79, pp. 30-39.
45. Kostygin Iu.P., Kostygina A.A. Gruppirovaniye seismopriemnikov i seismicheskikh izluchatelei [Grouping of seismic receivers and seismic emitters]. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi universitet, 2018, 58 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Захаров Ю.М., Путилов И.С. Получение качественных сейсмических данных на заболоченных территориях севера Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т.20, №2. – С.115–125. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.2.2

Please cite this article in English as:

Zakharov Iu.M., Putilov I.S. Obtaining high-quality seismic data in the wetlands in the North of Perm Krai. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.1, pp.115-125. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.2.2