УДК 553.63:550.834

ТЕХНОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СОЛЕЙ

Р. И. ЦАРЕВ,
старший научный сотрудник,
roman.tsarev@uralkali.com

А. А. ЖУКОВ,
заведующий лабораторией геофизики, канд. техн. наук

А. М. ПРИГАРА,
ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

Д. Н. ШКУРАТСКИЙ,
генеральный директор, канд. техн. наук

АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия

Описаны технологические особенности проведения поверхностной сейсморазведки в условиях Верхнекамского месторождения солей. На основе проведенных исследований разработана технология выполнения малоглубинных сейсморазведочных работ с применением взрывного источника упругих колебаний. Обоснованы условия использования импульсного порохового источника для изучения массива в интервале глубин 200–400 м.

Ключевые слова: *Верхнекамское месторождение солей, поверхностная сейсморазведка, метод отраженных волн, импульсный пороховой источник, энергия взрыва, зона малых скоростей, акустическая жесткость.*

DOI: *10.17580/gzh.2021.04.01*

Введение

Поверхностные сейсморазведочные исследования для изучения геологического строения Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) проводят уже несколько десятилетий. Основной целью этих работ является получение исходных данных для проектирования горных работ и безопасной эксплуатации калийных рудников.

Продуктивный интервал соляной толщи на ВКМС залегает на небольшой глубине порядка 200–400 м от поверхности земли. Термин «малоглубинная сейсморазведка» условно охватывает интервал глубин до 500–700 м, что отличает ее от инженерной и нефтяной сейсморазведки и подразумевает характерные для этого интервала глубин особенности.

Полевые материалы являются основой всего процесса сейсморазведочных исследований, поэтому требования к их качеству должны быть высокими. Качество материалов приобретает особую важность, если обработанные полевые данные в процессе интерпретации подвергают анализу с привлечением сложных математических вычислений (атрибутный анализ, сейсмическая инверсия и др.) [1–3].

При проведении малоглубинной сейсморазведки в условиях сильного затухания полезного сигнала в неконсолидированной верхней части разреза (ВЧР) [4–6] и его интерференции с поверхностными волнами, а также при слабой акустической жесткости границ внутри соляной толщи [7] получить качественный и надежный материал сложно. В связи с этим выполнены исследования по сравнению эффективности источников колебаний упругих волн, а также рассмотрены особенности проведения малоглубинной сейсморазведки на ВКМС.

Характеристика месторождения

ВКМС находится в пределах Пермского края. На месторождении ведут добычу сильвинита, карналлита, каменной соли и рассолов. Галогенная формация имеет форму линзы и прослеживается в меридиональном направлении на 206 км, в широтном на 56 км, представлена общей мощностью до 550 м. Соляная толща подразделяется (снизу вверх) на подстилающую каменную соль, калийную залежь, состоящую из сильвинитовой и карналлитовой пачек, покровную каменную соль и соляно-мергельную толщу, в нижней части которой наблюдается переслаивание каменной соли с прослоями мергеля (переходная пачка). Соляная толща имеет достаточно сложную тектонику [8] с присутствием неоднородностей различного типа, например внутрисоляных деформаций (ВСД) [9].

Надсоляной комплекс пород представлен терригенно-карбонатной, пестроцветной толщами и четвертичными отложениями [10]. Ниже соляной залежи залегает глинисто-ангидритовая толща. Ее слагают мергели и аргиллиты, доломиты и в меньшей степени – известняки, ангидритовая порода, алевролиты и песчаники. В разрезе толщи встречаются линзы и пласты каменной соли мощностью до 12 м. Все эти породы чередуются в разрезе и сменяют друг друга на площади [11].

Технология и особенности проведения работ

Полевые сейсморазведочные работы на ВКМС в настоящее время выполняют по методике невзрывной малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения с использованием интерференционной системы наблюдения [12]. Для возбуждения упругой волны при этом используют источники упругих колебаний двух типов: механический поверхностный источник (принцип

падающей массы) и импульсный пороховой источник (работающий на энергии пороховых газов патрона 12-го калибра) [13].

При полевых работах применяют цифровую телеметрическую сейсмостанцию в связке с вертикальными геофонами GS-20DX. Система наблюдения 64-канальная, переменная, асимметричная. Шаг пунктов возбуждения и приема обычно составляет 8 м. При регистрации осуществляют подавление поверхностных волн путем группирования сейсмоприемников с неизменными параметрами группы, с числом приемников в группе, равным 5, шагом элементов группы 4 м и базой группирования 16 м.

Описанная выше технология проведения полевых работ и система наблюдений являются обоснованными и в целом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к подобным работам в рассматриваемых геологических условиях. Однако, если частотный диапазон сигнала, генерируемого источником, является вполне приемлемым, его энергии для надежного решения поставленных геологических задач хватает далеко не всегда.

Группирование и поверхностные условия. Установлено [14, 15], что группирование зачастую может негативно влиять на регистрируемый сигнал, а именно: сужается частотный диапазон регистрируемого сигнала; снижается эффективность подавления волн-помех из-за использования одинаковых параметров группирования для различных участков.

Для каждого участка с более или менее выдержанным рельефом необходимо проведение опытных исследований по выбору параметров группы (размеров, ориентации и шага между датчиками), иначе велика вероятность получения неудовлетворительного результата только за счет некорректных параметров группирования.

Для снижения негативного влияния группирования предлагается использование одиночных сейсмоприемников, что позволит сохранить максимально широкий частотный диапазон регистрируемого сигнала. Снижение чувствительности одиночных геофонов по сравнению с группой компенсируется применением более чувствительных приемников, например GS-ONE, чувствительность которых в 6 раз выше, чем применяемых GS-20DX. При этом для расширения возможностей по подавлению поверхностных волн необходимо уменьшить шаг пунктов приема до 2–5 м.

На **рис. 1** представлены типичные сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ), полученные на одном профиле с использованием импульсного порохового источника. Сейсмограммы, находящиеся друг от друга всего в 235 м, могут значительно отличаться (см. рис. 1, *а*, *в*). На сейсмограмме после предварительной обработки (см. рис. 1, *б*) хорошо различимы оси синфазности отраженных волн на временах $t_0 = 150 \div 550$ мс, что соответствует целевому интервалу изучаемого разреза. На данных, полученных в 235 м от тех, что представлены на рис. 1, *б*, отражения отсутствуют (см. рис. 1, *г*).

Разница в получаемых данных вызвана изменением поверхностных условий и различиями в геологическом строении ВЧР. Даже при том, что на части сейсмограмм, полученных с применением импульсного порохового источника, можно выделить отражения, отношение сигнал/шум и в целом качество записи оставляют желать лучшего (см. рис. 1, *а*, *в*). Причинами низкого качества

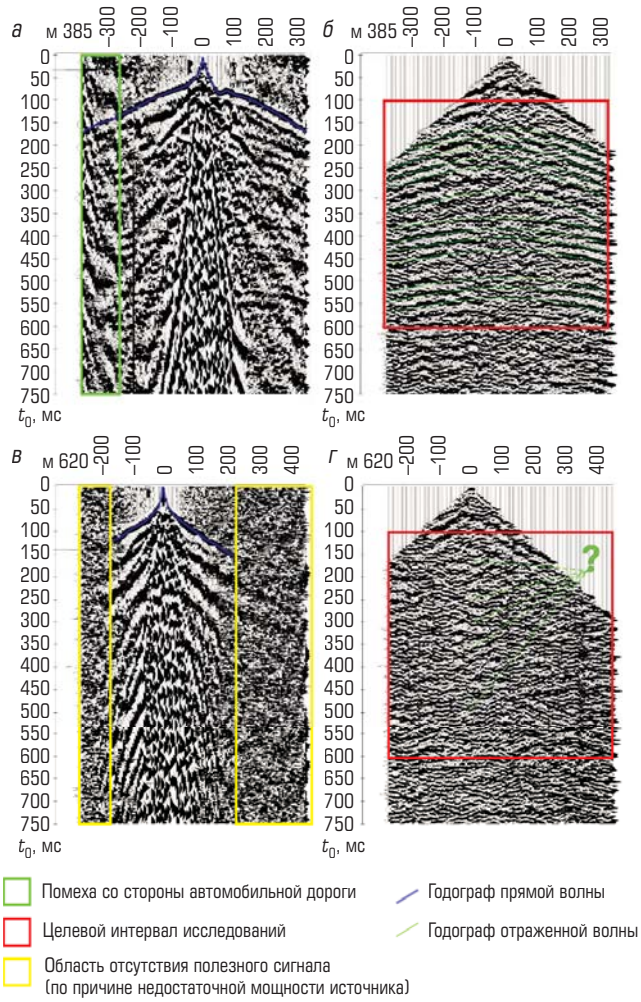

Рис. 1. Сейсмограммы, записанные с импульсным пороховым источником на расстоянии 235 м друг от друга:
а, *в* – полевые сейсмограммы после амплитудной регулировки;
б, *г* – эти же сейсмограммы после первичной обработки

записей являются недостаточная энергия источника, техногенные и случайные шумы, которые вносят искажения и в без того слабый сигнал. Исходные материалы подобного качества полностью исключают проведение динамической интерпретации.

Соотношение сигнал/шум. В нефтяной сейсморазведке, своеобразном эталоне, у которого малоглубинная сейсморазведка позаимствовала все технологические наработки, соотношение сигнал/шум оценивают в двух окнах: на уровне целевого горизонта («сигнал») и до первых вступлений («микросейсмы»). Приемлемым для решения структурных задач является соотношение сигнал/шум не менее 5, для решения динамических задач – не менее 10. Если сигнал отсутствует на исходных сейсмограммах, то его не стоит ожидать и на окончательных временных разрезах [15, 16].

В малоглубинной сейсморазведке это утверждение особенно актуально, ведь энергии импульсного порохового источника не всегда достаточно даже для регистрации первых вступлений и получения четких отражений от наиболее контрастных

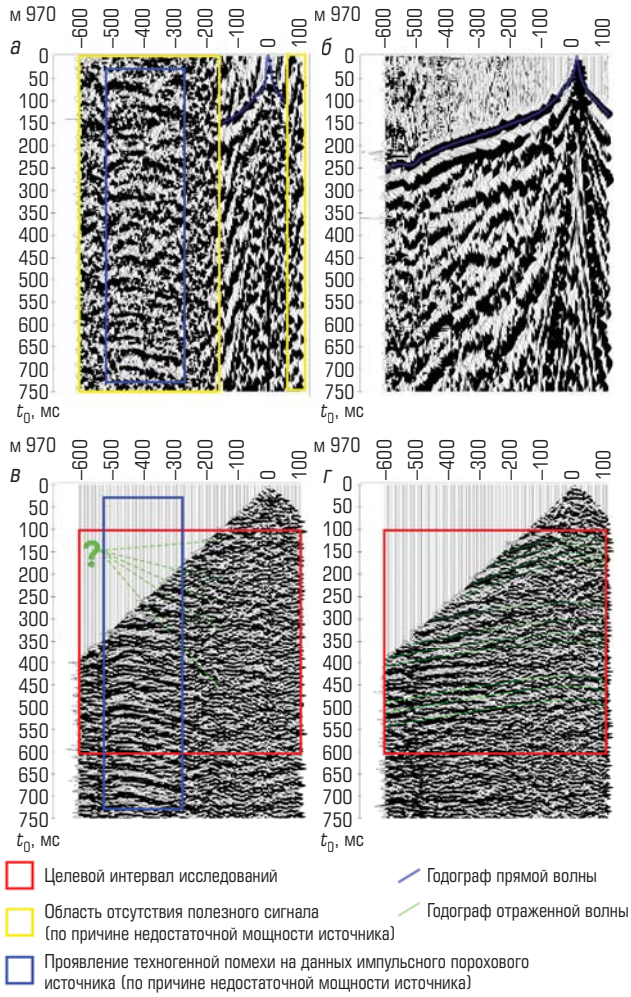

Рис. 2. Сравнение сейсмограмм:
а, *в* – сейсмограммы до и после предварительной обработки, записанные с импульсным источником; *б*, *г* – они же, со взрывным источником

границ – кровли солей и кровли глинисто-ангидритовой толщи (кГАТ). В таких условиях возможность надежного и повсеместного получения отражений от целевых отражающих границ, которые имеют гораздо меньшую акустическую жесткость, чем кГАТ, остается под вопросом [17]. В связи с описанной ситуацией выполнены сравнительные исследования импульсного порохового и взрывного источников.

Сравнение источников. Для сравнения источников были проведены опытно-исследовательские работы на одном из участков ВКМС с использованием импульсного порохового и взрывного источников. В качестве взрывного источника использовали взрывчатое вещество аммонит 6ЖВ, патронированный по 200 г, с электродетонатором. Заряд погружали на забой скважины глубиной 1,5 м, после чего ствол скважины тампонировали.

На **рис. 2** приведены полевые сейсмограммы, записанные на одном пикете с помощью импульсного порохового (см. рис. 2, *а*) и взрывного (см. рис. 2, *б*) источников. На исходных сейсмограммах видно, что при регистрации с использованием импульсного порохового источника видимая частота сигнала несколько выше, чем при применении взрывного.

В связи с недостаточной мощностью импульсного порохового источника при данных поверхностных условиях первые вступления зарегистрированы только на 1/3 части максимального удаления, на остальной части расстановки зафиксированы только техногенный и случайный шум (микросейсмы). Годографы отраженных волн отсутствуют по всей длине записи. На материале, полученном с использованием взрывного источника, хорошо прослеживаются первые вступления по всей длине расстановки. После предварительной обработки, включающей полосовую фильтрацию и амплитудную коррекцию, на записях проявляются протяженные оси синфазности, ассоциируемые с отражениями от акустически жестких границ.

Выполним оценку энергии взрыва. Удельная энергия взрывного разложения тротила (тринитротолуола) в мировой практике – 4184 Дж/г, масса зарядов – 200 г, тротиловый эквивалент аммонала – 0,99. Таким образом, энергия взрыва в одиночной скважине оценивается как 4184 Дж/г · 200 г · 0,99 = 828432 Дж, т. е. примерно 828 кДж. Для сравнения: энергия взрыва 5 г пороха при тротиловом эквиваленте 0,6 составляет: 4184 Дж/г × × 5 г · 0,6 = 12552 Дж, или примерно 12 кДж, что в 66 раз меньше энергии взрыва 200 г аммонала.

Столь высокая энергия взрыва может приводить к выходу регистрируемого сигнала за динамический диапазон в случае некорректного выбора параметров аппаратного усиления. Для предотвращения записи бракованного материала проведены опытные исследования по выбору аппаратного усиления. Для выбора параметров на каждом исследуемом участке регистрируют сигнал на нескольких пунктах возбуждения с усилением 0, 12, 24 и 36 дБ. При усилении 24 и 36 дБ в центральной части сейсмограммы на большом числе трасс наблюдается выход сигнала за динамический диапазон, т. е. нарушается гладкая форма записи, появляются так называемые ступеньки. Эти искажения негативно влияют на форму полезного сигнала, поэтому использование усиления более 12 дБ при массе заряда ВВ 200 г нежелательно.

Для выбора массы заряда и глубины его заложения выполнены испытания, в ходе которых записаны сейсмограммы с зарядами 200, 600 и 1000 г на глубинах 1,5 и 4 м. Как показали результаты испытаний, значительной разницы в отношении сигнал/шум и амплитудном спектре на полученных записях не отмечено. Поэтому для проведения малоглубинных сейсморазведочных исследований со взрывным источником рекомендуется использовать заряды массой не более 200 г.

Результаты исследований, проведенных на разных участках ВКМС, указывают на то, что даже взрывной источник в некоторых случаях не позволяет получать кондиционный материал в целевом интервале соляной толщи. Это связано с поверхностными условиями, мощностью и строением четвертичных отложений (Q). Четвертичная система на ВКМС представлена комплексом пород различного генезиса переменной мощности, находящейся в различного рода соотношениях. Средняя мощность Q, по данным выборки из 911 скважин, колеблется от 5 до 15 м, повышенная – от 15 до 40 м, аномально высокая – свыше 40 м [18].

Скорость продольной волны в четвертичных отложениях изменяется от 300 до 1500 м/с. В этом интервале возникают высокоамплитудные низкочастотные поверхностные волны, интерферирующие с целевыми отражениями. Эффект интерференции элементарных отражений описан более подробно в результатах сейсмического моделирования [7].

При погружении зарядов на бóльшую глубину (более 5 м) и при нахождении источника в низинах (оврагах, долинах рек и ручьев) качество регистрируемого материала повышается. На **рис. 3** приведен пример сейсмограмм, находящихся на одном участке с различными высотными отметками пунктов возбуждения. На сейсмограммах видно, что на возвышенностях, где мощность четвертичных отложений наибольшая, оси синфазности менее контрастные (см. рис. 3, *а*), чем на сейсмограммах, записанных в низинах и долинах рек (см. рис. 3, *б*, *в*).

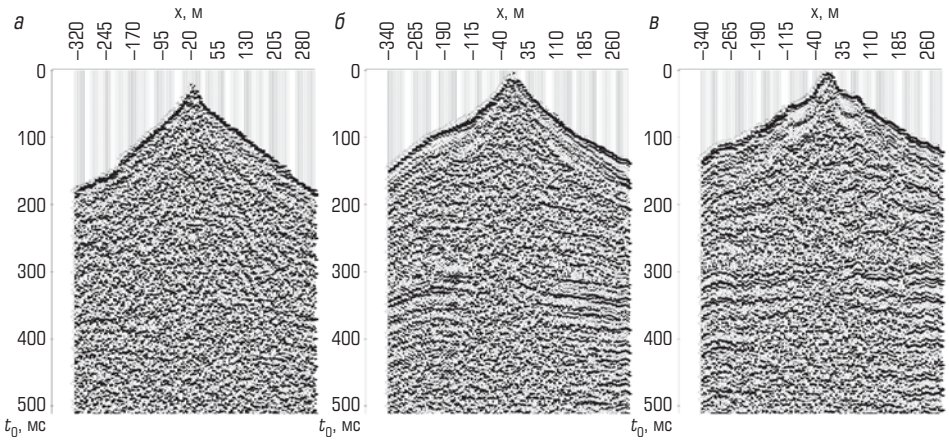

Рис. 3. Сейсмограммы, записанные при расположении пунктов возбуждения в различных местах одного и того же профиля:
а – на возвышенности; *б* – в низине; *в* – в долине реки

Таким образом, наиболее остро стоит вопрос о минимизации влияния верхней части разреза и зоны малых скоростей. Основной выход – погружение зарядов на бóльшую глубину либо проведение исследований в низинах и долинах рек, что на практике возможно далеко не всегда.

Оценка скоростей. Известно [14], что при других равных условиях случайная ошибка оценки эффективной скорости обратно пропорциональна квадрату длины годографа. Удовлетворительные по точности оценки скоростей можно получить лишь по достаточно протяженным годографам, особенно в условиях высокоскоростного разреза, где отраженные волны имеют сравнительно небольшие приращения времени с увеличением дистанции. Этот вывод справедлив и для определения $V_{ОГТ}$ путем подбора по сейсмограммам общей глубинной точки (ОГТ) с помощью регулируемого криволинейного суммирования трасс. При отсутствии данных акустического каротажа (АК) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП) для получения высокоточных оценок эффективных скоростей рекомендуется выполнение «скоростных» зондирований общей глубинной площадки.

В качестве примера приведем результаты анализа скоростей (**рис. 4**), из которого следует, что для одного и того же отражения можно подобрать удовлетворительно совпадающий теоретический годограф со скоростями в интервале от 2500 до 3500 м/с. В глубинном масштабе это соответствует разбросу возможных оценок глубины отражающей границы с 460 до 660 м, и это для самого сильного отражающего горизонта. Для слабых и зашумленных отражений, интерферирующих с другими, как показали наши исследования, этот разброс может быть еще больше.

Подобная неоднозначность может ввести интерпретатора в заблуждение, например положение пласта маркирующих глин

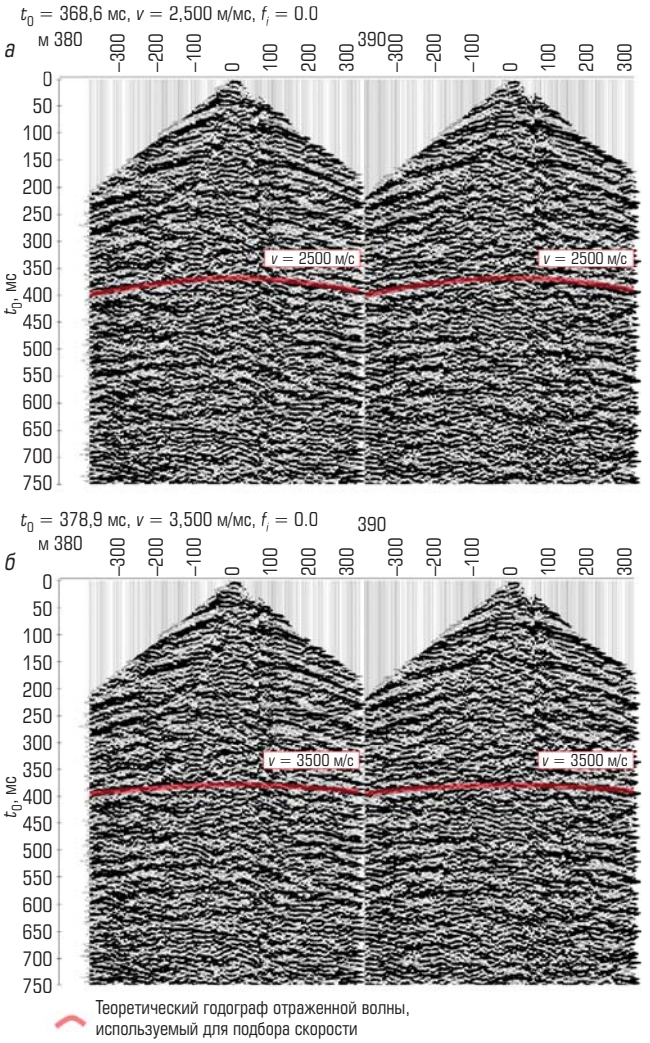

Рис. 4. Результаты скоростного анализа для одних и тех же сейсмограмм:
а – скорость по годографу 2500 м/с; *б* – скорость 3500 м/с. В обоих случаях теоретический годограф удовлетворительно совпадает с осью синфазности отраженной волны

(МГ) по результатам интерпретации может оказаться на глубине, соответствующей реальному положению кровли глинисто-ангидритовой толщи. Для корректной привязки отражающих горизонтов, помимо «скоростных» зондирований, необходимо использовать данные АК и ВСП. В частности, данные АК следует использовать для сейсмического моделирования и построения трасс однократных отражений.

Учет ВЧР. Важную роль в подготовке зарегистрированного сейсмического материала играет учет верхней части разреза. Для этого требуются высокоточная топографо-геодезическая съемка высотных отметок и координат пунктов возбуждения (ПВ) и приема (ППр) и надежная регистрация первых вступлений по всей длине расстановки для изучения скоростей в ВЧР. Регистрация первых вступлений при использовании импульсного порохового источника возможна только при благоприятных поверхностных условиях, в остальных случаях использовать его не рекомендуется. Недоучет ВЧР приводит к серьезным ошибкам на этапе обработки и интерпретации сейсморазведочных данных, в том числе к отсутствию корреляции и некорректной привязке отражающих горизонтов.

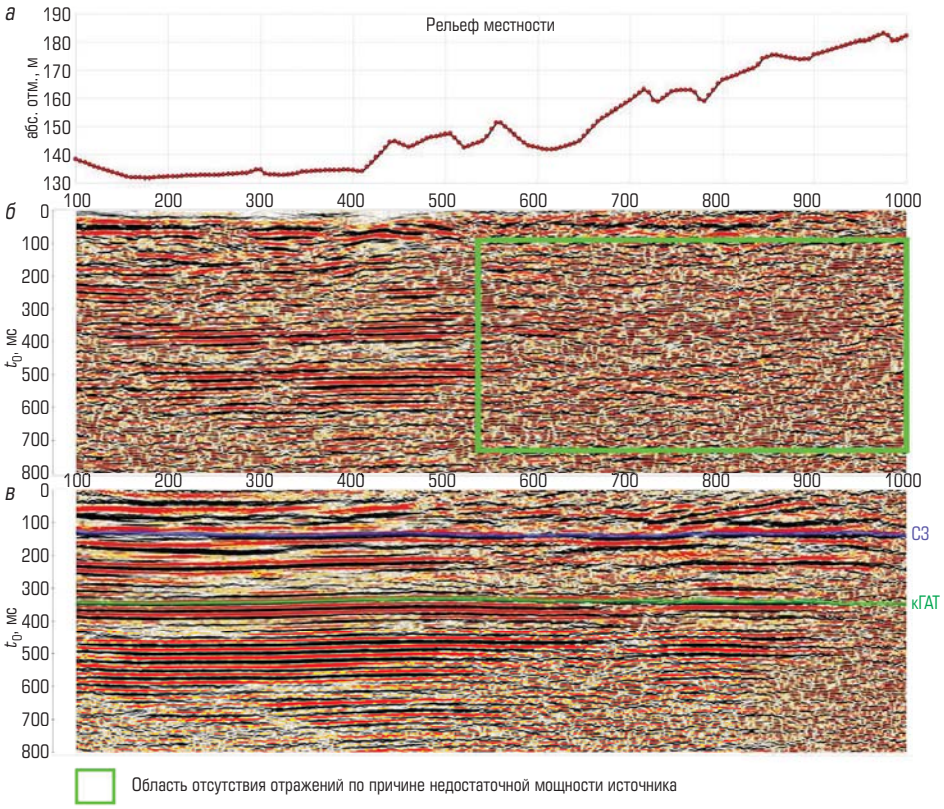

Рис. 5. Сравнение первичных временных разрезов:
а – рельеф местности; *б*, *в* – с использованием импульсного порохового и взрывного источников соответственно

На **рис. 5** показаны два первичных разреза, полученные с применением импульсного порохового (см. рис. *б*) и взрывного (см. рис. *в*) источников.

Установлено, что при смене поверхностных условий (см. рис. 5, *а*) полностью пропадают отражения по данным импульсного порохового источника, по результатам же взрывного источника целевые отражения прослеживаются на всю длину исследуемого профиля.

Выводы

По результатам проведенных опытно-исследовательских работ можно сделать следующие выводы.

Во-первых, сильное изменение поверхностных условий и строения ВЧР негативно влияет на регистрируемый сигнал, особенно при использовании группирования датчиков с одинаковыми параметрами группы на всех участках. Для каждого района с более-менее выдержанным рельефом необходимо проведение предварительных опытных исследований по выбору параметров группы (размеров, ориентации и шага между датчиками), иначе велика вероятность получения неудовлетворительного результата только за счет группирования. Предпочтительным же является использование одиночных сейсмоприемников с одновременным уменьшением шага пунктов приема.

Во-вторых, частотный диапазон импульсного порохового источника можно считать приемлемым, однако энергии для надежного решения геологических задач хватает только при крайне благоприятных поверхностных условиях и строении ВЧР, что на ВКМС встречается редко. По результатам проведенных исследований предлагается использовать взрывной источник упругих колебаний. Установлен значительный прирост амплитуды отражений от кровли соляной залежи, пласта МГ и кГАТ (подошвы соляной толщи). Как следствие, соотношение сигнал/шум у взрывного источника в разы выше, чем у импульсного порохового, что положительно влияет на точность скоростного анализа, и, как следствие, на точность глубинной привязки и позволяет значительно повысить объективность результатов интерпретации. Для проведения малоглубинных сейсморазведочных исследований со взрывным источником рекомендуется использовать заряды массой не более 200 г. При погружении зарядов на бóльшую глубину и при нахождении источника в низинах (оврагах, долинах рек и ручьев) качество регистрируемого материала повышается.

В-третьих, важную роль в обработке регистрируемого материала играет тщательный учет ВЧР. Для этого требуются высокоточная топографо-геодезическая съемка высотных отметок и координат ПВ, ППр, а также надежная регистрация первых вступлений по всей длине расстановки.

Проведенные исследования в очередной раз доказали, что полевые работы – это фундамент, на котором строится весь процесс сейсморазведочных работ. В малоглубинной же сейсморазведке качество полевых работ сказывается на окончательных результатах особенно критично в силу особенностей волнового поля. Поэтому очень важно регистрировать интенсивный и стабильный сигнал с применением плотной и протяженной расстановки датчиков, соблюдать высокую кратность наблюдений, проводить высокоточную топографо-геодезическую съемку профилей и выполнять привязку временных разрезов к скважинным данным. Недоработки на любом из этапов могут привести к критическим ошибкам и получению некондиционных данных.

Для успешного проведения разведочных работ на ВКМС авторы статьи предлагают применять поверхностную сейсморазведку методом отраженных волн общей глубинной точки (МОВ ОГТ) со взрывным источником, с обязательной привязкой к данным АК и ВСП, а эксплуатационную разведку осуществлять во внутренних точках среды способом шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО) [19, 20].

Библиографический список

1. *Ампилов Ю. П.* От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. – М. : Спектр, 2008. – 383 с.
2. *Кашников Ю. А., Ермашов А. О., Ефимов А. А.* Геолого-геомеханическая модель участка Верхнекамского калийного месторождения // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 259–267.
3. *Kamnev E. N., Morozov V. N., Tatarinov V. N., Kaftan V. I.* Geodynamic aspects of investigations in underground research laboratory (Nizhnekansk Massif) // Eurasian Mining. 2018. No. 2. P. 11–14. DOI: 10.17580/em.2018.02.03
4. *Спасский Б. А.* Учет верхней части разреза в сейсморазведке. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 1990. – 181 с.
5. *Monk D. J.* Survey Design and Seismic Acquisition for Land, Marine, and In-between in Light of New Technology and Techniques : 2020 Distinguished Instructor Short Course. Distinguished Instructor Series, No. 23. – Tulsa : Society of Exploration Geophysicists, 2020. – 214 p.
6. *Qing-Zhong Li.* High-resolution Seismic Exploration. – Tulsa : Society of Exploration Geophysicists, 2017. – 320 p.
7. *Царев Р. И.* Обоснование выбора модели геологической среды при решении прямой задачи сейсморазведки МОВ ОГТ на Верхнекамском месторождении солей // Геофизика. 2018. № 5. С. 18–23.
8. *Jackson M. P. A., Hudec M. R.* Salt Tectonics. Principles and Practice. – Cambridge : Cambridge University Press, 2017. – 498 p.
9. *Голубев Б. М.* Строение соляной толщи Верхнекамского месторождения : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Пермь, 1972. – 31 с.
10. *Кудряшов А. И.* Верхнекамское месторождение солей. – 2-е изд., перераб. – М. : Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.
11. *Иванов А. А., Воронова М. Л.* Верхнекамское месторождение калийных солей (стратиграфия, минералогия и петрография, тектоника, генезис) // Труды Всесоюзного научно-исследовательского геологического института. Новая серия. – Л. : Недра, 1975. Т. 232. – 217 с.
12. *Санфиров И. А.* Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. – Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 1996. – 165 с.
13. Пат. 2439620 РФ. Импульсный пороховой источник упругих колебаний / И. А. Санфиров, А. Г. Ярославцев, А. Е. Ахматов и др. ; заявл. 15.06.2010 ; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.
14. *Боганик Г. Н., Гурвич И. И.* Сейсморазведка. – Тверь : АИС, 2006. – 744 с.
15. *Череповский А. В.* Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. – 2-е изд., доп. – М. : ООО «EAGE Геомодель», 2017. – 252 с.
16. *Буряк С. В., Вакуленко С. А.* О достоверности наблюдаемых отражающих границ на суммарных разрезах инженерного МОВ ОГТ // 8th EAGE International Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics 2012. – Геленджик, 2012. DOI: 10.3997/2214-4609.20146038
17. *Dondurur D.* Acquisition and Processing of Marine Seismic Data. – Amsterdam : Elsevier, 2018. – 606 p.
18. *Харитонов Т. В., Оборина Е. В., Попов А. Г.* и др. Создание сводных геологической и гидрогеологической карт Верхнекамского месторождения калийных солей масштаба 1:100 000. – Пермь, 2002. Кн. 1.
19. *Жуков А. А., Пригара А. М., Царев Р. И., Пушкарева И. Ю.* Способ шахтной сейсморазведки для изучения особенностей геологического строения ВКМС // ГИАБ. 2019. № 4. С. 121–136.
20. *Царев Р. И.* Возможности шахтной сейсморазведки на поперечных волнах // Engineering and Mining Geophysics 2019 : Proceedings of the 15th Conference and Exhibition. – Геленджик, 2019. Vol. 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201901765 ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 4, pp. 17–23
DOI: 10.17580/gzh.2021.04.01

Technology and specificity of surface seismic in the Upper Kama Potash Salt Deposit

Information about authors
R. I. Tsarev[1], Senior Researcher, roman.tsarev@uralkali.com
A. A. Zhukov[1], Head of Laboratory of Geophysics, Candidate of Engineering Sciences
A. M. Prigara[1], Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences
D. N. Shkuratskiy[1], CEO, Candidate of Engineering Sciences
[1]VNII Galurgii, Perm, Russia

Abstract
Exploration surveys at the Upper Kama Potash Salt Deposit widely use the surface seismic method by the common reflection point at depth. Based on the implemented research, a technology is developed for shallow seismic using an explosion source of elastic vibrations for the purposes of geological exploration. The research involved the comparative analysis of the main elastic wave sources used in the shallow seismic. It is highlighted that it is important to consider carefully the near-surface section structure and the surface relief. The accuracy of the velocity analysis procedure in the high-velocity section of salt strata is analyzed. The specificity of acquisition in the shallow seismic with an explosion source is discussed. The actual test data show a considerable increment in the energy of reflections from the roof and floor of the salt strata, which, in the absence of a priori geological information and geophysical logging data (acoustic logging and vertical seismic profiling), affects the velocity analysis precision and, as a consequence, the accuracy of reflection identification at depth. It is found that the explosion source has a much higher signal/noise ratio as against a pulse cartridge, which greatly improves neutrality of interpretation results. The use of a pulse cartridge in the surveys in the depth interval of 200–400 m is only justified when the surface conditions are perfect and the low velocity layer is not thick.
Keywords: Upper Kama Potash Salt Deposit, surface seismic, seismic reflection method, pulse cartridge, explosion energy, low velocity layer, acoustic impedance.

References

1. Ampilov Yu. P. From seismic interpretation to modeling and assessment of oil and gas reservoirs. Moscow : Spektr, 2008. 383 p.
2. Kashnikov Yu. A., Ermashov A. O., Efimov A. A. Geological and geomechanical model of the Verkhnekamsk potash deposit site. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 237. pp. 259–267.
3. Kamnev E. N., Morozov V. N., Tatarinov V. N., Kaftan V. I. Geodynamic aspects of investigations in underground research laboratory (Nizhnekansk Massif). *Eurasian Mining*. 2018. No. 2. pp. 11–14. DOI: 10.17580/em.2018.02.03
4. Spasskiy B. A. Accounting for near-surface section in seismic exploration. Irkutsk : Izdatelstvo IGU, 1990. 181 p.
5. Monk D. J. Survey Design and Seismic Acquisition for Land, Marine, and In-between in Light of New Technology and Techniques : 2020 Distinguished Instructor Short Course. Distinguished Instructor Series, No. 23. Tulsa : Society of Exploration Geophysicists, 2020. 214 p.
6. Qing-Zhong Li. High-Resolution Seismic Exploration. Tulsa : Society of Exploration Geophysicists, 2017. 320 p.

7. Tsarev R. I. The rationale for selecting the geological environment model in the seismic CDP survey forward solution on the Verkhnekamskoye salt deposit. *Geofizika*. 2018. No. 5. pp. 18–23.
8. Jackson M. P. A., Hudec M. R. Salt Tectonics. Principles and Practice. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 498 p.
9. Golubev B. M. Structure of salt strata in the Upper Kama deposit : thesis of Dissertation … of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Perm, 1972. 31 p.
10. Kudryashov A. I. Verkhnekamskoe salt deposit. 2nd enlarged edition. Moscow : Epsilon Plus, 2013. 368 p.
11. Ivanov A. A., Voronova M. L. Upper Kama Potash Salt Deposit: Stratigraphy, mineralogy and petrography, tectonics, genesis. *Transactions of the All-Union Scientific Research Geological Institute. New Series*. Leningrad : Nedra, 1975. Vol. 232. 217 p.
12. Sanfirov I. A. Mine objectives of seismic exploration by the common depth point. Yekaterinburg : Izdatelstvo UrO RAN, 1996. 165 p.
13. Sanfirov I. A., Yaroslavtsev A. G., Akhmatov A. E. et al. Pulsed powder elastic wave source. Patent RF, No. 2439620. Applied: 15.06.2010. Published: 10.01.2012. Bulletin No. 1.
14. Boganik G. N., Gurvich I. I. Seismic exploration. Tver : AIS, 2006. 744 p.
15. Cherepovskiy A. V. Next technological level of surface seismic. 2nd revised edition. Moscow : EAGE Geomodel LLC, 2017. 252 p.
16. Buryak S. V., Vakulenko S. A. Reliability of observed reflection boundaries in stacked sections of engineering method of the common reflection point at depth. *The 8th EAGE International Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics 2012*. Gelendzhik, 2012. DOI: 10.3997/2214-4609.20146038
17. Dondurur D. Acquisition and Processing of Marine Seismic Data. Amsterdam : Elsevier, 2018. 606 p.
18. Kharitonov T. V., Oborina E. V., Popov A. G. et al. Generation of composite geological and hydrogeological maps of the Upper Kama Potash Salt Deposit, Scale 1:100 000. Perm, 2002. Book 1.
19. Zhukov A. A., Prigara A. M., Tsarev R. I., Pushkareva I. Yu. Method of mine seismic survey for studying geological structure features of Verkhnekamskoye salt deposit. *GIAB*. 2019. No. 4. pp. 121–136.
20. Tsarev R. I. Capacities of S-wave exploration in mines. *Engineering and Mining Geophysics 2019 : Proceedings of the 15th Conference and Exhibition*. Gelendzhik, 2019. Vol. 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201901765

УДК 550.834

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ СПОСОБОМ ПВРО

А. М. ПРИГАРА[1], *ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук*

А. А. ЖУКОВ[1], *заведующий лабораторией геофизики, канд. техн. наук, Aleksandr.Zhukov@uralkali.com*

Р. И. ЦАРЕВ[1], *старший научный сотрудник*

Ю. А. КАШНИКОВ[2], *зав. кафедрой, д-р техн. наук*

[1] *АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия*
[2] *Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия*

Оценены возможности способа шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений для решения задач эксплуатационной разведки на примере Верхнекамского месторождения солей. Внедрение разработанного способа в практику эксплуатационной разведки позволяет существенно повысить ее эффективность. С учетом схожести условий подземной и открытой добычи полезных ископаемых с позиций доступа к плотным горным породам аналогичных результатов следует ожидать и в условиях карьеров.

Ключевые слова: *сейсморазведка, поперечные волны, разделение отражений, сейсмогеологическая модель, безопасность рудников, подсчет запасов, геомеханические параметры.*

DOI: *10.17580/gzh.2021.04.02*

Введение

Эксплуатационную разведку на месторождениях полезных ископаемых проводят с целью планомерного систематического получения достоверных исходных данных для планирования горных работ, а также контроля за полнотой и качеством отработки запасов. Ее осуществляют в течение всего периода разработки месторождения. Важную роль при этом играют геофизические методы, поскольку они позволяют получать практически непрерывную информацию о геологическом строении отрабатываемых участков [1–7]. На месторождениях солей в процессе эксплуатационной разведки, помимо уточнения пространственного положения, мощности и строения отрабатываемых пластов, обязательно следует получать сведения о строении и свойствах водозащитной толщи [8]. Строение и состояние последней определяют безопасность действующих рудников. При этом, как считают ряд авторов, «при фактически применяемых методах разведки соляных месторождений получить необходимые данные о качественных и количественных параметрах аномальных зон практически невозможно» [9].

Для исправления этой ситуации авторами статьи разработан способ сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО) [10], обеспечивающий построение сейсмогеологической модели среды с высокой детальностью и достоверностью. Теоретические расчеты, опытные работы в реальных условиях и геологическая заверка подтвердили большой потенциал способа при решении геологоразведочных и геотехнических задач