

Оригинальная статья / Original article

УДК 550.83; 553.632

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-2-176-184>

Особенности применения способа шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений

© А.М. Пригара

ВНИИ Галургии, г. Пермь, Россия

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Резюме: Цель данной статьи заключается в исследовании характера искажения отраженных сигналов, входящих из разных полупространств при применении процедуры разделения отражений. Зная характер искажений и параметры, от которых они зависят, можно подбирать оптимальную методику полевых работ и обработки. В статье рассматриваются результаты, получаемые при выполнении шахтных сейсморазведочных работ методом отраженных волн по методике общей глубинной точки. В рамках данного метода при участии автора разработан способ шахтной сейсморазведки с использованием поперечных волн с разделением отражений, прошедший апробацию на Верхнекамском месторождении калийных солей. При разделении отражений возникает искажение сигнала, зависящее в основном от расстояния между линиями пунктов возбуждения. Путем решения прямой задачи сейсморазведки выполнено моделирование сигналов с различным расстоянием между линиями приема. В результате исследования выявлены закономерности влияния расстояния между линиями пунктов возбуждения на характеристики разделяемых отраженных сигналов. Качество подавления сигнала практически не зависит от расстояния между линиями пунктов возбуждения. Обратная ситуация наблюдается с выделяемым сигналом. При различном расстоянии между линиями пунктов возбуждения наблюдаются различные искажения, как амплитуды, так и фазы сигнала. Кроме того, изменяется и его длина, причем при выделении сигнала, приходящего снизу, удлинение происходит в направлении начала записи, а при выделении сигнала, приходящего сверху – в направлении конца записи. Качество подавления сигнала практически ни от чего не зависит. Выделяемый же сигнал при любом расстоянии между линиями пунктов возбуждения будет претерпевать те или иные искажения. Зная их характер и опираясь на результаты настоящего исследования, можно выбирать такое расстояние, которое обеспечит наилучший результат по разделению отражений в зависимости от решаемой задачи.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийных солей, шахтная сейсморазведка, поперечные волны, метод отраженных волн по методике общей глубинной точки, разделение отражений

Информация о статье: Дата поступления 30 апреля 2019 г.; дата принятия к печати 7 июня 2019 г.; дата онлайн-размещения 27 июня 2019 г.

Для цитирования: Пригара А.М. Особенности применения способа шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений. *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2019. Т. 42. № 2. С. 176–184. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-176-184.

Specifics of the underground seismics method using shear waves with reflection separation

© А.М. Prigara

ARRIH (All-Russian Research Institute of Hallurgy), Perm, Russia

Perm State University, Perm, Russia

Abstract: The purpose of the study has been to investigate the character of distortion of the reflected signals from different semispaces using the reflection separation procedure. The knowledge of the distortion character and influencing parameters makes it possible to select an effective method of field works and processing. The article presents the underground seismic survey results obtained using the reflected wave method, i.e. common depth point procedure. In the frames of the method, with the participation of the author, an underground seismics method

using shear waves with reflection separation has been developed and tested at the Verkhnekamskoye potash salt deposit. With the reflection separation, the signal distortion depends mainly on the distance between the source points lines. Following the direct task of seismic survey, the signals have been modeled for different distances between the reception lines. The study has shown clear regularities in the effect of the distance between the source point lines on the characteristics of the separated reflected signals. The quality of the signal suppression virtually independent on the distance between the source points lines. For an enhanced signal, it is the opposite: depending on the distance between the source point lines, both the signal amplitude and phase get distorted. The signal length also changes: when enhancing the signal coming from below, the elongation happens in the direction of the record beginning, and for a signal coming from above, in the direction of the record end, the quality of signal suppression being almost in no dependence to anything. Vice versa, an enhanced signal is subject to any kind of distortion when the distance between the source point lines changes. Based on the research results, it is possible to choose a distance that provides optimum reflection separation corresponding to a research task.

Keywords: Verkhnekamskoye potash salt deposit, underground seismics, shear waves, reflection method by a common depth point seismic procedure, reflection separation

Information about the article: Received April 30, 2019; accepted for publication June 7, 2019; available online June 27, 2019.

For citation: Prigara A.M. Specifics of the underground seismics method using shear waves with reflection separation. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya sektiiv nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 176–184. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-176-184.

Введение

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС) расположено в пределах Пермского края на левом берегу р. Кама. Месторождение комплексное, в его пределах ведется добыча сырья для производства калийных удобрений, карналлита (источник магния для титаномагневых сплавов), каменной соли (технической, кормовой, пищевой) [1].

Активная добыча солей вызывает необходимость во всестороннем изучении строения соляной толщи ВКМС и в частности внутрисоляных деформаций [2]. Внутрисоляные деформации – это в основном складчатые деформации, которые зачастую характеризуются сложностью и интенсивностью, что затрудняет ведение подземных горных работ и ведет к значительным потерям и разубоживанию ископаемых солей. Поэтому без знания характера, особенностей строения и закономерностей пространственного распространения внутрисоляных деформаций невозможно успешно решать вопросы по рациональному планированию и проведению горных работ и выбору новых шахтных полей. Всестороннее изучение внутрисоляных деформаций имеет и

весомое теоретическое значение. Из-за отсутствия объективных сведений о строении и закономерностях распространения данных деформаций среди геологов нет единства взглядов на формирование соляных структур ВКМС.

На сегодняшний день особенности строения месторождений солей изучаются как прямыми методами – проходкой горных выработок, так и косвенными – с помощью геофизики [3–9]. Очевидно, что прямые методы дороги и ограничены в применении, и поэтому дают недостаточно информации для решения очерченных выше задач. Геофизические же методы, с одной стороны, обладают возможностью квазинепрерывного исследования земной толщи, с другой стороны, характеризуются целым рядом физических ограничений и особенностей, свойственных для работы в условиях шахт. Так, в ряде работ [10–13] показана сложность структуры волнового поля, образующегося при выполнении сейсморазведочных работ в подземных выработках, что сильно осложняет получение объективной информации о строении месторождения и характеристиках внутрисоляных деформаций. Данная ситуация

приводит к тому, что подходы к выполнению геофизических методов, характерные для поверхностных условий, неприменимы в условиях шахт и требуют значительных изменений и доработок.

Для целей детального и объективного изучения геологического строения ВКМС и встречающихся в его пределах внутрисоляных деформаций в АО «ВНИИ Галургии» разработан способ шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений ВНИИ Галургии [14]. Способ апробирован на ВКМС, где устойчиво показывает объективные результаты при изучении особенностей геологического строения и внутрисоляных деформаций. Поскольку способ разработан буквально полгода назад, он находится в стадии становления и в ходе его апробации возникает масса вопросов, требующих ответа. К таким вопросам относятся: особенности разделения отраженных сигналов, приходящих к линии приема из разных полупространств, в том числе влияние разделения на форму сигнала; «дальность действия» метода отраженных волн при использовании предлагаемого способа; особенности скоростного анализа в условиях интенсивной складчатости; связь скоростей поперечных волн и физических свойств пород; возможности по определению наклона границ вкрест профилей; возможности по обнаружению и изучению различных геологических неоднородностей и так далее. В данной работе подробно рассмотрен вопрос разделения отраженных сигналов, приходящих из разных полупространств.

Материалы и методы исследования

Способ шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений ВНИИ Галургии учитывает особенности возбуждения и приема упругих колебаний в шахтных условиях, когда регистрируемое волновое поле является результатом интерференции отражений,

пришедших к линии приема с разных сторон. В частности, для исследований в вертикальной плоскости предлагается устанавливать в стену горизонтально ориентированные сейсмоприемники и возбуждать поперечные волны горизонтальными же ударами в стену (рис. 1). При этом поперечные волны будут распространяться в направлении, радиальном (перпендикулярном) относительно оси удара. В результате в случае субгоризонтального залегания геологических слоев основная часть отраженных поперечных волн будет приходить к линии приема сверху и снизу.

Для разделения отражений, приходящих к линии приема сверху и снизу (или с других сторон в случае исследований в плоскости, отличной от вертикальной), авторами предлагается [14] на этапе выполнения полевых работ отрабатывать две линии пунктов возбуждения. В случае исследований в вертикальной плоскости эти линии должны быть разнесены на определенное расстояние друг от друга в вертикальном направлении (см. рис. 1).

Благодаря такому подходу на этапе камеральной обработки получают два разреза, относящихся к разным линиям возбуждения (рис. 2, А, В). Отражения, пришедшие сверху и снизу, на этих разрезах будут сдвинуты относительно друг друга за счет расстояния между линиями возбуждения. В случае соляных шахт при работах в одноходовых выработках удастся разнести линии возбуждения по высоте на расстояние примерно до 2,5 м, что при скорости поперечных волн 2500 м/с дает разницу во времени прихода отражений порядка 1 мс. Этого вполне достаточно для успешного разделения отражений, приходящих из разных полупространств.

Окончательно разделять отражения сверху и снизу авторы предлагают на камеральном этапе и разработали для этого три способа. Первый из них

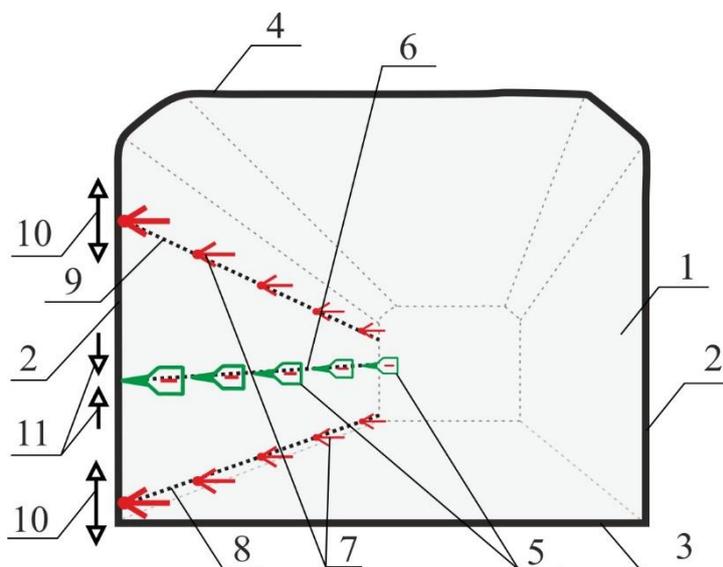


Рис. 1. Схема выполнения полевых сейсморазведочных работ способом шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений ВНИИ Галургии при исследованиях в вертикальной плоскости:

1 – выработка (штрек); 2 – стенка выработки; 3 – подошва выработки; 4 – кровля выработки; 5 – горизонтально-ориентированные сейсмоприемники на штырях; 6 – линия пунктов приема; 7 – пункты возбуждения (удары в горизонтальной плоскости); 8, 9 – соответственно нижняя и верхняя линии пунктов возбуждения; 10 – направление распространения поперечных волн (показано упрощенно, фактически поперечные волны распространяются радиально по отношению к оси направленности источника); 11 – направление прихода отраженных поперечных волн к линии приема (для случая субгоризонтального геологического строения)

Fig. 1. Scheme of performing field seismic survey works using a method of shear waves with reflection separation (ARRIH), vertical plane study:

1 – working (bord); 2 – workings' wall; 3 – working's floor; 4 – working's roof; 5 – horizontally-oriented seismic pin receivers; 6 – line of reception points; 7 – source points (shocks in horizontal plane); 8, 9 – lower and upper lines of source points; 10 – direction of shear-wave propagation (shown schematically, as the shear waves propagate radially in relation to the source direction axis); 11 – direction of the reflected shear waves arrival at the reception line (sub-horizontal geological structure case)

предполагает ввод поправок в первичные разрезы и вычитание их друг из друга, в результате чего получается два разреза, один из которых содержит в основном отражения, пришедшие сверху, второй – снизу. Второй способ основан на использовании функции взаимной корреляции и определении направления прихода сигнала по ее сдвигу. Третий способ базируется на пикировании горизонтов и сравнении сдвига пикировок. Основным способом разделения можно считать первый, когда два разреза, полученные для различных линий пунктов возбуждения, вычитаются друг из друга со сдвигом (рис. 2, C, D).

Результаты исследования и их анализ

Еще до выполнения детального анализа влияния вычитания на форму сигнала можно было предположить, что отражения, которые необходимо подавить, будут вычитаться качественно практически независимо от расстояния между линиями пунктов возбуждения. И совершенно иная ситуация будет наблюдаться с выделяемым сигналом: в зависимости от выбранного расстояния между линиями пунктов возбуждения сигнал может быть выделен неудовлетворительно, удовлетворительно, а может быть продублирован, то есть возникнет ложное

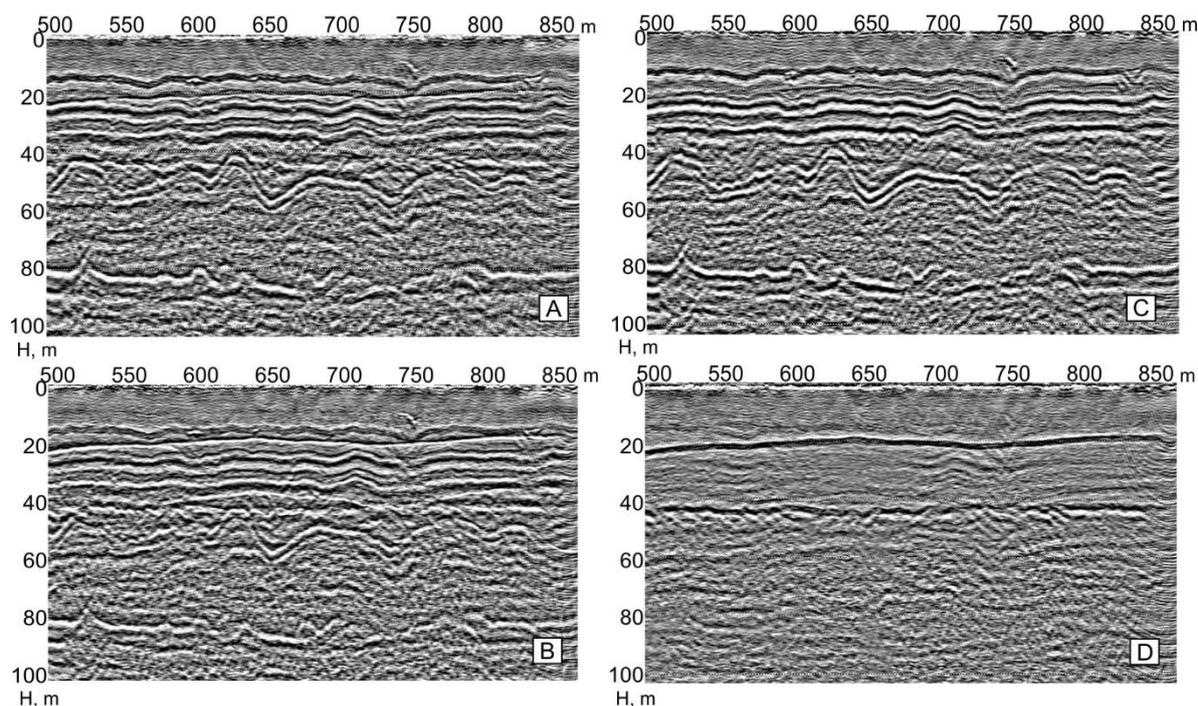


Рис. 2. Получение глубинного разреза способом шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений ВНИИ Галургии:

*A, B – глубинные разрезы соответственно для верхней и нижней линий пунктов возбуждения;
C, D – глубинные разрезы соответственно для верхнего и нижнего полупространства*

Fig. 2. Obtaining depth profile by underground seismics method using shear waves with reflection separation (ARRIH method):

*A, B – depth profiles for upper and lower source point lines;
C, D – depth profiles for upper and lower semispace*

отражение с противоположной фазой. Таким образом, в любом случае ожидается искажение выделяемого сигнала.

Для получения полного представления об изменениях формы записи при вычитании двух разрезов друг из друга, а также о принципах выбора расстояния между линиями пунктов возбуждения автором смоделировано несколько ситуаций, в которых используется синтетический отраженный сигнал в виде затухающей синусоиды. Он приходит к линии приема из верхнего и нижнего полупространств, при этом используются различные расстояния между линиями пунктов возбуждения, в результате чего вычитание записей выполняется с тем или иным результатом.

В качестве примера можно привести результаты разделения отражений для модели среды, содержащей пять

отражающих границ выше выработки на расстоянии 4, 10, 14, 21 и 25 м от линии приема и одну границу ниже выработки на расстоянии 9 м от линии приема (рис. 3). Частота затухающей синусоиды для примера, приведенного на рис. 3, равна 500 Гц, расстояние между линиями возбуждения – 1,25 м (что составляет четверть длины волны), скорость распространения поперечных волн – 2500 м/с.

Как и ожидалось, на рис. 3 видно, что подавление сигнала происходит полностью. Так, на рис. 3, C полностью отсутствует отражение, пришедшее снизу, а на рис. 3, D полностью отсутствуют отражения, пришедшие сверху. По-другому обстоят дела с выделяемым сигналом: на рис. 3, C, где выделяется отраженный сигнал сверху, видно, что первый полупериод выделяемого сигнала, приходящего сверху, сохраняется практически без

изменений, а у остальной части сохраняется фаза, но значительно изменяется амплитуда, таким образом, можно говорить об удлинении сигнала после первого вступления. При выделении же отражения, приходящего снизу (см. рис. 3, D),

добавляется полпериода перед первым вступлением отражения, а остальная часть сигнала почти не изменяется, таким образом, можно говорить об удлинении сигнала до первого вступления.

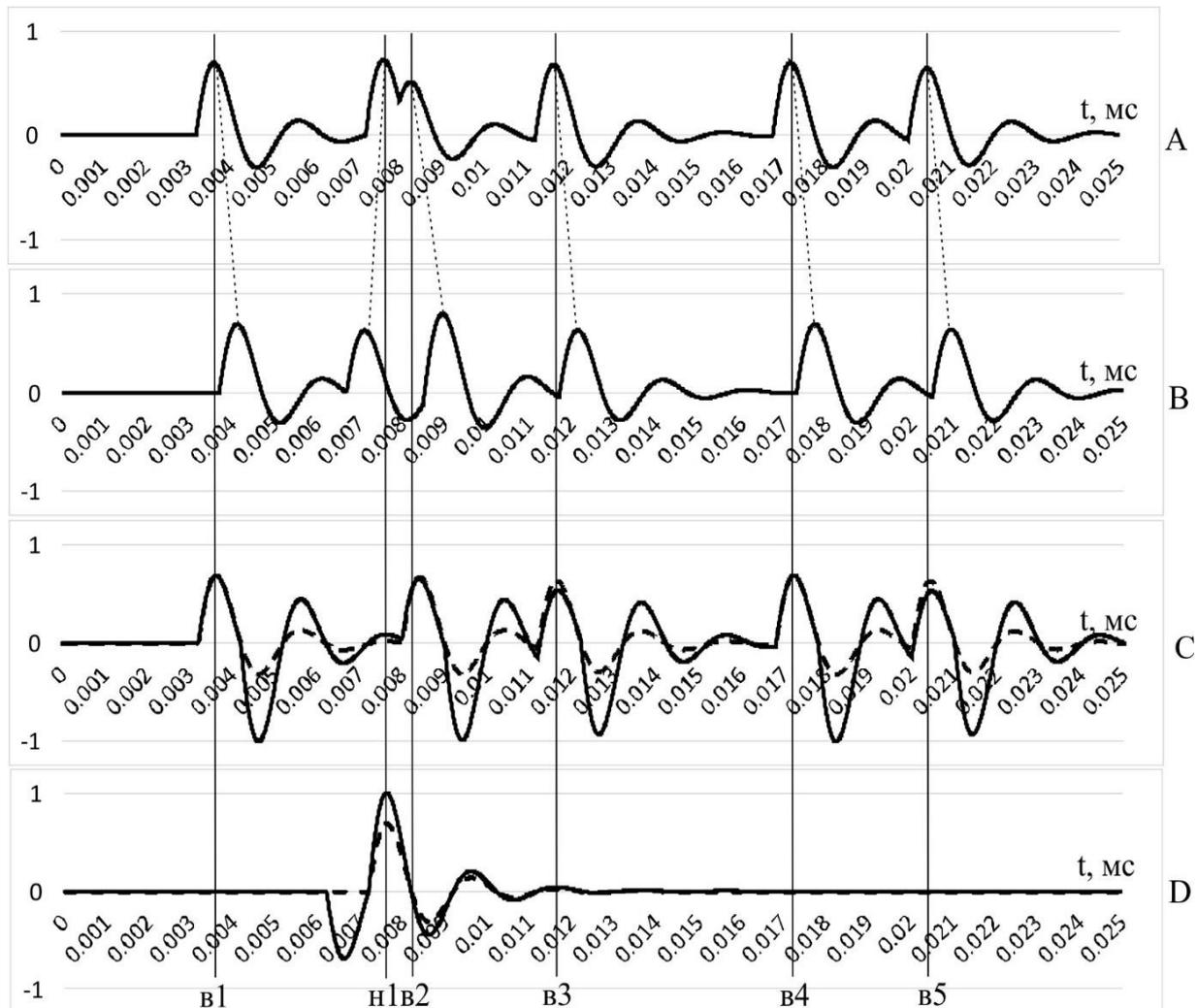


Рис. 3. Результаты разделения отражений, пришедших из разных полупространств на модельном примере для затухающей синусоиды 500 Гц и расстояния между линиями пунктов возбуждения, равного 1,25 м:

A, B – суммарный отраженный сигнал: A – для верхних линий пунктов возбуждения, B – для нижних линий пунктов возбуждения;

C, D – совмещение «идеального» отраженного сигнала (пунктирная линия) и сигнала, получаемого с помощью разделения отражений (сплошная линия):

C – для верхнего полупространства, D – для нижнего полупространства;

v1...v5 – отражения от вышележащих границ и их номер; n1 – отражение от нижележащей границы

Fig. 3. Results of separating the reflections arriving from different semispaces as a model example for damped sinusoid 500 Hz, the distance between the source point lines being 1.25 m:

A, B – composite reflected signal: A – for the upper source point lines; B – for the lower source point lines;

C, D – combination of the "ideal" reflected signal (dash line), and the signal obtained using reflections separation (solid line): C – for the upper semispaces; D – for the lower semispaces;

v1...v5 – reflections from overlying borders, and their numbers, n1 – reflection from the underlying border

Аналогичные расчеты выполнены для других расстояний между линиями пунктов возбуждения – 0,16, 0,32, 0,625 и 5 м, что составляет соответственно 1/32, 1/16, 1/8 и 1/4 длины волны моделируемого сигнала. По результатам расчетов можно сделать следующие выводы. При расстоянии между линиями пунктов возбуждения меньше 1/4 длины волны неизбежно возникает фазовое и амплитудное искажение сигнала, однако чем меньше это расстояние, тем ближе общая длина сигнала к исходной, или «идеальной». Причем данный эффект может возникнуть только за счет увеличения частоты сигнала, что мы и наблюдаем на рис. 4, А, В, С. Минимальный фазовый сдвиг достигается при расстоянии между линиями пунктов возбуждения, равном 1/4 длины волны, которое в данных условиях равно 1,25 м. При расстоянии же между линиями пунктов возбуждения, равном длине волны, отраженные сигналы дублиру-

ются со сдвигом и в противофазе с исходным сигналом (рис. 4, D).

Обсуждение результатов

По итогам моделирования можно сделать следующие выводы. Если при разделении отражений, приходящих из разных полупространств, необходимо сохранить фазу отраженных сигналов, то нужно выбирать расстояние между линиями пунктов возбуждения, равное 1/4 длине волны. Если необходимо сохранить длину отраженного сигнала, то нужно выбирать расстояние между линиями пунктов возбуждения от 1/16 до 1/8 длины волны, меньшее расстояние приводит к значительному уменьшению амплитуды выделяемого сигнала, большее – к увеличению длины сигнала. Расстояние между линиями пунктов возбуждения больше 1/4 длины волны выбирать крайне не рекомендуется, поскольку разделение отражений в таком случае приводит к дальнейшему удлинению

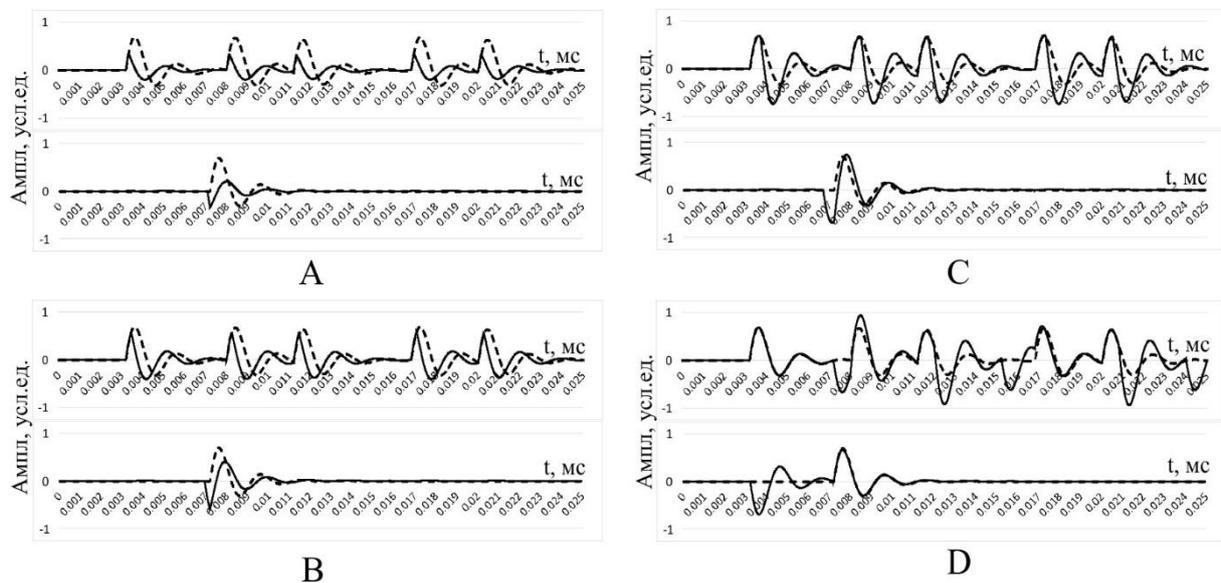


Рис. 4. Результаты разделения отражений, пришедших из разных полупространств на модельном примере для затухающей синусоиды 500 Гц и расстояния между линиями пунктов возбуждения, равного 0,16 м (А), 0,32 м (В), 0,625 м (С) и 5 м (D)
Верхние графики – отражения сверху, нижние – отражения снизу; пунктирная линия – «идеальное» отражение, сплошная – отражение, полученное с помощью разделения сигналов
Fig. 4. Results of separating the reflections arriving from different semispaces as a model example for damped sinusoid 500 Hz and the distance between the lines of source points being 0.16 m (A), 0.32 m (C), 0.625 m (C) and 5 m (D)

Upper graphs – reflections for the upper semispace, lower graphs – reflections for the lower semispace; dash line – “ideal” reflected signal, solid line – signal obtained using reflections separation

выделяемого сигнала вплоть до дублирования, что может привести к грубым ошибкам при интерпретации получаемых разрезов. Спектр сигнала после вычитания изменяется слабо, однако изменения все же есть. Наименьшие изменения происходят при расстоянии между линиями пунктов возбуждения, равном $1/4$ длины волны, а при уменьшении расстояния происходит сдвиг спектра в высокочастотную область, что хорошо связывается с увеличением видимой частоты сигнала.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что при любом расстоянии между линиями пунктов возбуждения выделяемый сигнал будет претерпевать те или иные искажения. При этом, зная их характер и опираясь на результаты настоящего исследования, можно выбирать такое расстояние, которое обеспечит наилучший результат по разделению отражений в зависимости от решаемой задачи. Полученные результаты планируется подтвердить в ходе специально запланированных для этого опытных работ.

Библиографический список

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. М.: Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.
2. Голубев Б.М. Морфологические особенности складок внутри калийной толщи Верхнекамского месторождения и условия их формирования // Доклады Академии наук СССР. 1972. Т. 204. № 3. С. 671–674.
3. Вагин В.Б. Шахтные сейсмические методы изучения строения массивов соляных пород. Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. 188 с.
4. Вагин В.Б., Ефимов А.М., Кулагов Е.В. Исследование и оценка состояния водозащитной толщи над калийными горизонтами геофизическими методами // Горный журнал. 2014. № 2. С. 11–15.
5. Zhou B., Hatherly P., Peters T. Cola seismic surveying over near-surface basalts: experience from Central Queensland, Australia // Geophysics. 2014. Vol. 79. № 2. P. B109–B122.
6. Barthwal H., Van der Baan M. Passive seismic tomography using recorded microseismicity: application to mining-induced seismicity // Geophysics. 2019. Vol. 84. № 1. P. B41–B57.
7. Jun Lu, Xinghun Meng, Yun Wang. Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data: a case history from China // Geophysics. 2016. Vol. 81. № 5. P. B149–B165.
8. Greenhalgh S.A., Masonz I.M., Sinadi-

- novski C. In-mine seismic delineation of mineralization and rock structure // Geophysics. 2016. Vol. 65. № 6. P. 1908–1919.
9. Бабкин А.И. Пространственные интерференционные системы сейсмоакустических наблюдений в условиях горных выработок калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 1. С. 261–267.
10. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Ященко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М.: Недра, 1969. 239 с.
11. Кулагов Е.В. Особенности сейсмических волн, возбуждаемых в массиве соляных пород на Старобинском месторождении // Литасфера. 2012. № 2 (37). С. 105–111.
12. Gendzwill D.J., Brehm R. High-resolution seismic reflections in a potash mine // Geophysics. 1993. Vol. 58. № 5. P. 741–748.
13. Tsarev R., Prigara A., Zhukov A. The possibilities of mine seismic survey on shear waves // Engineering and Mining Geophysics 2019: 15th Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901765>.
14. Жуков А.А., Пригара А.М., Царев Р.И., Шусткина И.Ю. Способ шахтной сейсморазведки для изучения особенностей геологического строения ВКМС // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 4. С. 121–136.

References

1. Kudryashov A.I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei* [Verkhnekamskoye salt deposit]. Moscow: Epsilon Plyus Publ., 2013, 368 p. (In Russ.).
2. Golubev B.M. Morphological features of the folds within the potash strata of the Verkhnekamskoe deposit, and the conditions of their formation. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1972, vol. 204, no. 3, pp. 671–674. (In Russ.).

3. Vagin V.B. *Shakhtnye seismicheskie metody izucheniya stroeniya massivov solyanykh porod* [Underground seismics methods of studying salt mass structure]. Minsk: BelNITs "Ekologiya" Publ., 2010, 188 p. (In Russ.).
4. Vagin V.B., Efimov A.M., Kulagov E.V. Research and assessment of status of waterproof strata over potassium horizons by geophysical methods.

Gornyi zhurnal [Mining journal], 2014, no. 2, pp. 11–15. (In Russ.).

5. Zhou B., Hatherly P., Peters T. Cola seismic surveying over near-surface basalts: experience from Central Queensland, Australia. *Geophysics*, 2014, vol. 79, no. 2, pp. B109–B122.

6. Barthwal H., Van der Baan M. Passive seismic tomography using recorded microseismicity: application to mining-induced seismicity. *Geophysics*, 2019, vol. 84, no. 1, pp. B41–B57.

7. Jun Lu, Xinghun Meng, Yun Wang. Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data: a case history from China. *Geophysics*, 2016, vol. 81, no. 5, pp. B149–B165.

8. Greenhalgh S.A., Masonz I.M., Sinadinovski C. In-mine seismic delineation of mineralization and rock structure. *Geophysics*, 2016, vol. 65, no. 6, pp. 1908–1919.

9. Babkin A.I. Space interference systems of seismic-acoustic monitoring in the conditions of potash mine workings. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2010, no. 1, pp. 261–267. (In Russ.).

10. Savich A.I., Koptev V.I., Nikitin V.N.,

Yashchenko Z.G. *Seismoakusticheskie metody izucheniya massivov skal'nykh porod* [Acoustic methods of studying hard rock masses]. Moscow: Nedra Publ., 1969, 239 p. (In Russ.).

11. Kulagov E.V. *Osobennosti seismicheskikh voln, vzbuzhdaemykh v massive solyanykh porod na Starobinskom mestorozhdenii* [Features of seismic waves generated in Starobinskoye deposit salt rock mass]. *Litasfera*, 2012, no. 2 (37), pp. 105–111. (In Russ.).

12. Gendzwill D.J., Brehm R. High-resolution seismic reflections in a potash mine. *Geophysics*, 1993, vol. 58, no. 5, pp. 741–748.

13. Tsarev R., Prigara A., Zhukov A. The possibilities of mine seismic survey on shear waves. 15th Conference and Exhibition “Engineering and Mining Geophysics 2019”. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901765>.

14. Zhukov A.A., Prigara A.M., Tsarev R.I., Shustkina I.Yu. Method of mine seismic survey for studying geological structure features of Verkhnekamskoye salt deposit. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2019, no. 4, pp. 121–136. (In Russ.).

Критерии авторства / Authorship criteria

Пригара А.М. написал статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.
Andrey M. Prigara is the author of the article, holds the copyright and bears responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of the article.

Сведения об авторе / Information about the author



Пригара Андрей Михайлович,

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории геофизики,
ВНИИ Галургии,
614002, г. Пермь, ул. Сибирская, 94, Россия,
доцент кафедры геофизики,
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Россия,
e-mail: prandra@gmail.com

Andrey M. Prigara,

Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher, Research Laboratory of Geophysics,
ARRIH (All-Russian Research Institute of Hallurgy),
94, Sibirskaia St., Perm, 614002, Russia,
Associate Professor, Geophysics Department,
Perm State National Research University,
15, Bukireva St., 614990, Russia,
e-mail: prandra@gmail.com