

Применение методов пассивной сейсмологии для определения параметров угольного разреза*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-88-93>

ДОБРЫНИНА А.А.

Канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

САНЬКОВ В.А.

Канд. геол.-мин. наук, заместитель директора
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: sankov@crust.irk.ru

ИВАНОВ А.В.

Доктор геол.-мин. наук, профессор РАН,
заместитель директора ФГБУН
«Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: aivanov@crust.irk.ru

САНЬКОВ А.В.

Младший научный сотрудник
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: alekseysankov@inbox.ru

Статья посвящена проблеме разработки методик и подходов к поиску месторождений полезных ископаемых. В работе рассматриваются возможности применения методов пассивной сейсморазведки для определения строения верхней части Восточно-Бейского угольного разреза по данным региональной сети станций: методы H/V -отношений и микросейсмического зондирования, основанные на вариациях амплитудно-частотного состава сейсмических волн при прохождении в среде с различными плотностями и скоростями сейсмических волн. В результате для локального района Бейского каменноугольного месторождения определены глубины залегания слоев различной плотности и их толщина, а также их плотность и скорость сейсмических волн. Сопоставление полученных данных с геологическим разрезом показало хорошую сходимость результатов.

Ключевые слова: Кузбасско-Хакасский угольный район, пассивная сейсморазведка, промышленный взрыв, землетрясение, месторождение угля, микросейсмическое зондирование, H/V -отношение.

Для цитирования: Применение методов пассивной сейсмологии для определения параметров угольного разреза / А.А. Добрынина, В.А. Саньков, А.В. Иванов и др. // Уголь. 2022. № 512. С. 88-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-88-93>.

ВВЕДЕНИЕ

Задача поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, в частности месторождений каменного угля, входит в число приоритетных задач стратегий научно-технического развития Российской Федерации. Одним из важных компонентов этих работ является разработка методов, не приносящих ущерба окружающей среде и не тре-

* Работы выполнены в рамках КНТП Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

бующих значительных финансовых затрат. Сейсмическая томография является одним из таких методов, широко используемых для изучения строения Земли, определения скоростей сейсмических волн, плотности среды и пр. [1, 2]. В мировой практике в последние годы большую популярность приобретают методы локальной и глобальной томографии по микросейсмическим колебаниям [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

В настоящей работе на примере хорошо изученного Восточно-Бейского угольного месторождения рассматриваются возможности применения методов пассивной сейсморазведки для определения и уточнения структуры верхней части разреза.

ИССЛЕДУЕМЫЙ РЕГИОН

Бейское каменноугольное месторождение расположено на территории Минусинского угольного бассейна на юге Республики Хакасия. Угольный бассейн приурочен к Южно-Минусинской депрессии – прогибу межгорного типа и представляет собой ряд брахисинклиналей и мульд, чередующихся с поднятиями. Угленосная формация пермо-карбонового возраста включает хакасскую и аршановскую серию угленосных осадков, разделённых безугольной свитой. Мощность формации изменяется от 500-600 м до 1800 м. В них содержится от 6 до 40 рабочих пластов углей преобладающей мощностью 2-3 м (рис. 1, а). Бейское каменноугольное месторождение было открыто в 1920 г. В.И. Яворским [12], поисково-

разведочные работы на месторождении велись с 1963 по 1992 г., в период с 1977 по 1986 г. была проведена детальная разведка Чалпанского участка с целью подготовки к разработке Восточно-Бейского угольного разреза. В настоящее время разработка месторождения ведется Сибирской угольной энергетической компанией открытым способом [13]. В среднем в районе разреза фиксируется около 50 взрывов в год.

МЕТОДЫ И ДАННЫЕ

Для изучения верхней части разреза в работе использовались метод Н/V-отношений (отношение спектров горизонтальных и вертикальной компонент сейсмической записи) и метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [11]. Указанные методы хорошо зарекомендовали себя ранее для изучения верхней части разреза, зон разломов, трубок взрыва и определения положения вертикальных и горизонтальных неоднородностей в земной коре [11]. В основе методов лежат вариации амплитудно-частотного состава сейсмических волн при прохождении в среде с различными плотностями и скоростями сейсмических волн, что позволяет определить глубину залегания слоев различной плотности и их толщину, а также их плотность и скорость сейсмических волн и сделать выводы о структуре и составе разреза.

Сейсмический мониторинг на территории региона проводился Красноярским научно-исследовательским ин-

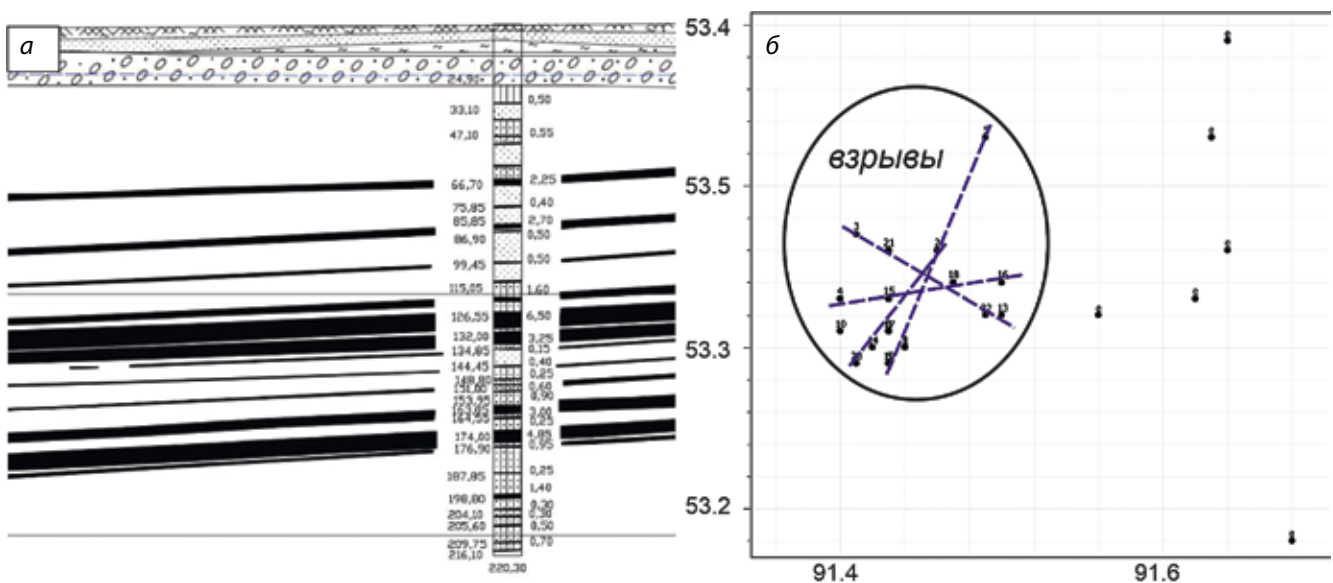


Рис. 1. а – характерный разрез Бейского каменноугольного месторождения (цифрами слева показана глубина слоев, справа – толщина); б – положение землетрясений и промышленных взрывов (выделены окружностью, цифрами показаны порядковые номера взрывов) в районе Восточно-Бейского разреза. Синим пунктиром показаны профили, по которым строились локальные разрезы

Fig. 1. A typical cross-section of the Beisky coal deposit (a) (figures on the left show the layer depths, figures on the right show the layer thickness); locations of earthquakes and industrial explosions in the East Beisky strip mine (b) (marked with a circle, figures show the ordinal numbers of blasts). The blue dotted line shows the profiles, which were used to plot the local cross-sections.

ститутом геологии и минерального сырья (КНИИГиМС, г. Красноярск) с 1996 по 2018 г. с помощью сети короткопериодных сейсмических станций, оснащенной короткопериодными сейсмоприемниками, установленными в скальном основании. Полоса рабочих частот варьируется от 0,5 до 10 или 20 Гц, частота дискретизации – 100 отсчетов в секунду. По данным КНИИГиМС, исследуемая территория характеризуется умеренной рассеянной сейсмичностью. Последним сильным землетрясением, зарегистрированным в этом районе, было Абаканское землетрясение (22 декабря 2013 г., $M_s = 4,9$, координаты N 53,32, E 91,56). С 2000 г. в исследуемом районе зарегистрировано более 660 сейсмических событий с магнитудой $M > 1$. Большинство из них (~ 630 событий) произошло в рабочее время – в интервале с 10:00 до 17:00 (время местное, GMT+7). Значительную часть из них составляют промышленные взрывы.

Так как на территории Восточно-Бейского разреза фиксируются землетрясения и промышленные взрывы, в работе для верификации результатов использовались записи микросейсмических колебаний, взрывов и землетрясений, полученные на ближайших к району работ сейсмических станциях – Абакан, Большая речка и Табат (см. таблицу). Для анализа были отобраны 22 техногенных взрыва ($M = 1,2-2,3$, рис. 1, б) и шесть землетрясений (Абаканское землетрясение 12 декабря 2013 г., $M = 4,9$ и 5 его афтершоков – слабые события с магнитудой 0,8-2,2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метод H/V-отношений применялся для всех трех типов сейсмических событий – микросейсмических колебаний, взрывов и землетрясений. В случае землетрясений и взрывов использовались как записи прямых объемных и поверхностных волн, так и сейсмической коды. Для выбранных участков записей строились кривые отношений спектров горизонтальных и вертикальной компонент (H/V-отношения), для получения двумерного разреза индивидуальные кривые объединялись по профилям. Для удобства анализа и интерпретации разреза индивидуальные кривые нормировались на максимум. В методе микросейсмического зондирования использовались записи только вертикальной компоненты, в качестве опорной станции последовательно выбирались все три станции (Абакан, Большая речка и Табат), чтобы избежать влияния антропогенной нагрузки в местах установки станций. Для получения двумерного разреза индивидуальные кривые также объеди-

нялись по географическому принципу (рис. 2). По всей совокупности данных строилась обобщенная дисперсионная кривая фундаментальной моды волны Рэлея, которая использовалась затем для расчета скоростных и плотностных разрезов.

Полученные двумерные разрезы в общих чертах хорошо согласуются между собой. Наибольшая детальность получена с использованием записей промышленных взрывов, что объясняется их непосредственной локализацией на самом месторождении. Для профилей, построенных по записям микросейсмических колебаний, детальность хуже, так как эти записи искажены локальным влиянием условий в месте установки сейсмических станций.

Выделение слоев с различными скоростями сейсмических волн и плотностями осуществлялось на основе выделения экстремумов H/V-кривых и границ аномалий вертикальной компоненты микросейсмического поля. Считается, что они приурочены к границам среды с различными свойствами, при этом в высокоскоростных неоднородностях (скорости упругих волн в неоднородности выше, чем во вмещающей среде) спектральные амплитуды в определенном частотном диапазоне уменьшаются, а в низкоскоростных (скорости ниже, чем во вмещающей) – возрастают [11]. Промышленный уголь находится в пластах мощностью от первых метров до нескольких десятков метров, залегающих в осадочных породах. При этом существует значительный контраст плотности и скоростей сейсмических волн между углем и осадочными породами.

На полученных профилях выделяется серия чередующихся слоев с высокими и низкими скоростями сейсмических волн (см. рис. 2). Отчетливо выделяется верхний слой с мощностью 45-69 м, представленный вмещающими породами осадочного происхождения со средними скоростями сейсмических волн ~3,15 м/с и плотностью до 2 г/см³ (вскрыша). Под ним расположен тонкий низкоскоростной слой с максимальной толщиной 4-6 м и плотностью пород не более 0,96-1 г/см³ (угольный пласт), расположенный на ~10-метровом слое с более высокими скоростями – до 3,05-3,18 м/с. Далее вниз по разрезу идет чередование слоев с высокими и низкими скоростями сейсмических волн – для некоторых кривых насчитывается до 14 слоев. Из-за далекого расположения принимающих станций (до 72 км) точное выделение глубин и толщины слоев затруднено из-за сильного искажения волновой картины. С частоты ~2 Гц (см. рис. 2, это частотный диапазон

Сейсмические станции

Название	Код	Координаты		Среднее расстояние до землетрясений/ взрывов, км
		с.ш., градус	в.д., градус	
Абакан	ABN	53,73	91,44	44/45
Большая речка	BLR	53,04	92,43	64/72
Табат	TBTR	52,93	90,72	77/87

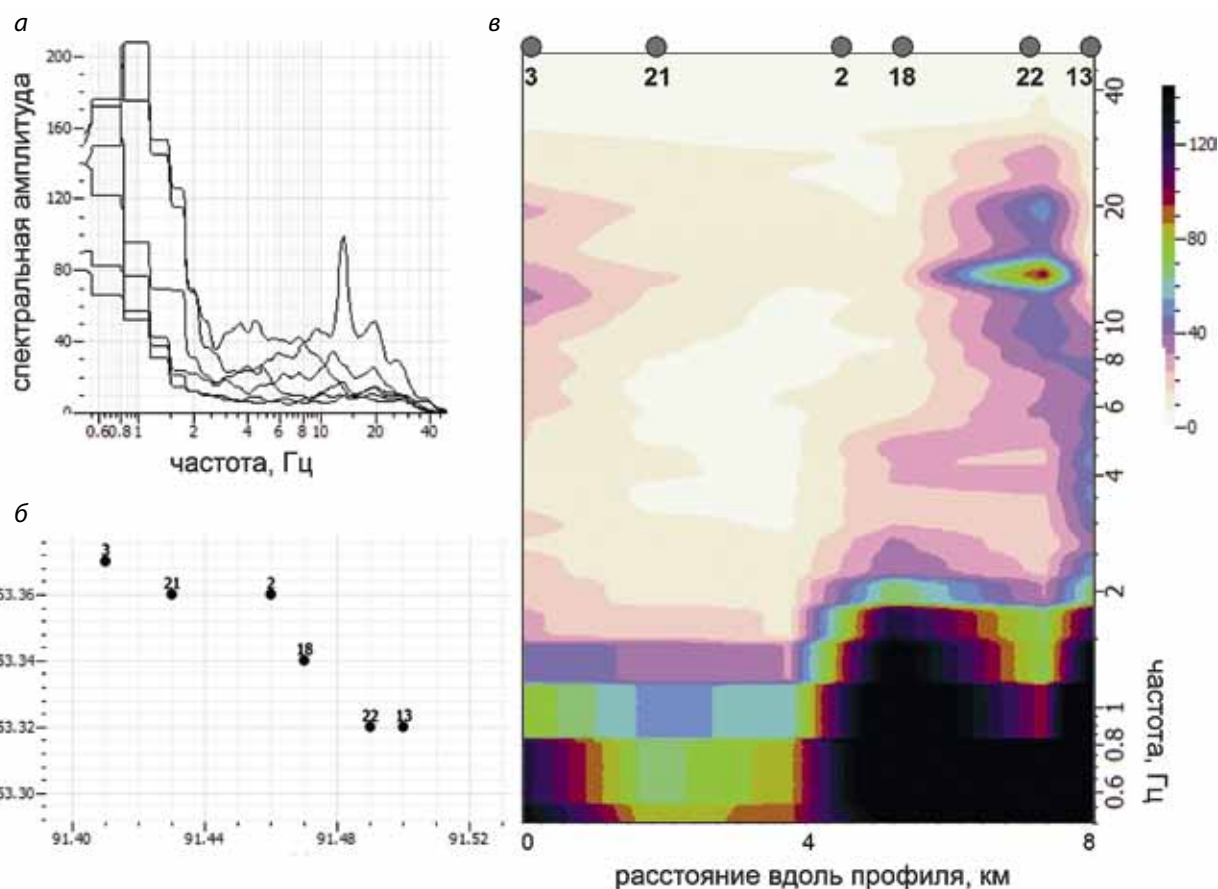


Рис. 2. Пример разреза по данным пассивной сейсморазведки: а – индивидуальные кривые ММЗ, б – положение точек взрывов на профиле, в – двумерный профиль ММЗ (показаны исходные данные индивидуальных кривых без нормировки на максимум). Цифрами показаны порядковые номера взрывов.

Fig. 2. Example of a cross-section based on the passive seismic data: а – individual microseismic curves, б – position of the blast points on the profile, в – a 2D microseismic profile (initial data of the individual curves without normalization to the maximum are shown). Figures show the ordinal numbers of blasts

от 2,1 до 1,4 Гц) и ниже начинается низкоскоростной слой, глубина его кровли оценивается примерно 460 м. Достоверно оценить его глубину не представляется возможным из-за особенностей регистрирующей аппаратуры (нижняя рабочая частота ограничена 0,5 Гц), но наблюдаемый низкоскоростной слой прослеживается до частоты 0,27 Гц (глубина нижней границы – до 1,3 км). Полученный разрез достаточно хорошо коррелирует с геологическими данными о строении Бейского месторождения.

В целом из проведенного исследования установлено, что применение методов пассивной сейсморазведки (методы Н/V-отношений и ММЗ) дает реальную картину разреза. Необходимо отметить, что относительно невысокая точность в средней части разреза объясняется не недостатками метода, а неудачным расположением приемников (сейсмических станций) относительно источника колебаний (землетрясений и взрывов), а также искажениями, вносимыми локальными условиями в месте установки сейсмических станций на микросейсмический

фон. Эти эффекты полностью пропадают при расстановке сейсмических станций непосредственно на исследуемом участке. Описанные методы применялись успешно авторами, в частности, при изучении сетями локальных временных сейсмических станций зон активных разломов и кимберлитовых тел, а также при исследовании кайнозойских рифтовых впадин Байкальского региона для уточнения глубины залегания и формы фундамента [14, 15, 16].

Для получения точного разреза и расчета дисперсионной кривой существуют определенные ограничения методов микросейсмического зондирования: сейсмические станции должны располагаться непосредственно в исследуемом районе – на участке изысканий; для точной локализации аномалии расстояние между станциями не должно превышать 0,5 от ее размера; время регистрации микросейсмического фона должно быть не менее 30 минут в спокойном месте для получения стабильной картины; случайные импульсные события (землетрясения, взрывы, проезд и работа тяжелой техники

и пр.) должны быть удалены из анализируемой записи. Постоянное наличие зондирующего сигнала в виде микросейсмических колебаний, существующих в каждой точке планеты, а также простота обработки и расчетов позволяют получить параметры разреза в течение нескольких часов после расстановки профиля, что дает возможность непосредственно при полевых работах оценить качество получаемых данных и при необходимости повторить измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методами пассивной сейсморазведки (метод Н/V-отношений и метод микросейсмического зондирования) по записям микросейсмических колебаний и землетрясений получен принципиальный разрез верхней части Восточно-Бейского каменноугольного месторождения. Сопоставление разреза с данными, полученными по записям промышленных взрывов на территории разработки, а также с характерным геологическим разрезом Бейского месторождения показывает хорошую сходимость результатов.

На основе полученных результатов предлагается использовать методы, основанные на измерении характеристик микросейсмического поля, для уточнения строения верхней части разреза. Преимуществами использования таких методов являются их относительная дешевизна по сравнению с активными геофизическими методами (сейсморазведка, электроразведка, бурение и пр.), а также скорость получения результата – для получения стабильных данных в одной точке наблюдения достаточно 30-60 минут.

Список литературы

1. Rawlinson N., Pozgay S., Fishwick S. Seismic tomography: a window into deep Earth // *Geoscience*. 2010. Vol. 178. P. 101-135.
2. Brocher T.M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust // *Bulletin of Seismological Society of America*. 2005. Vol. 95. P. 2081-2092.
3. Tomography of crust and lithosphere in the western Indian Ocean from noise cross-correlations of land and ocean bottom seismometers / S. Hable, K. Sigloch, E. Stutzmann et al. // *Geophysical Journal International*. 2019. Vol. 219(2). P. 924-944.
4. Surface wave tomography of the Alps using ambient-noise and earthquake phase velocity measurements / E.D. Kastle, A. El-Sharkawy, L. Boschi et al. // *Journal of Geophysical Research*. 2018. Vol. 123. P. 1770-1792.
5. Schippkus S., Zigone D., Bokelmann G. Ambient-noise tomography of the wider Vienna Basin region // *Geophysical Journal International*. 2018. Vol. 215. P. 102-117.
6. High resolution ambient noise tomography of the Southwestern Alps and the Ligurian margin / G. Guerin, D. Rivet, A. Deschamps et al. // *Geophysical Journal International*. 2020. Vol. 220, Is. 2. P. 806-820.
7. Ambient noise tomography for a high-resolution 3D S-wave velocity model of the Kinki Region, Southwestern Japan, using dense seismic array data / B. Nthaba, T. Ikeda, H. Nimiya et al. // *Earth Planets Space*. 2022. Vol. 74. P. 96. URL: <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01654-x> (дата обращения: 15.11.2022).
8. Lin F.C., Moschetti M.P., Ritzwoller M.H. Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity maps // *Geophysical Journal International*. 2008. Vol. 173. P. 281-298.
9. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broadband surface wave dispersion measurements / G.D. Bensen, M.H. Ritzwoller, M.P. Barmin et al. // *Geophysical Journal International*. 2007. Vol. 169. P. 1239-1260.
10. Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over Vs inversion / M. Wathelet, D. Jongmans, M. Ohrnberger et al. // *Journal of Seismology*. 2008. Vol. 12. P. 1-19.
11. Горбатов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // *Физика Земли*. 2008. № 7. С. 66-84.
12. Яворский В.И. Приенисейско-Абаканские месторождения углей // *Известия Геологической комиссии*. 1921. Т. 10. № 2. 6 с.
13. Официальный сайт компании СУЭК. [Электронный ресурс]. URL: <http://suek-khakasia.ru/> (дата обращения: 15.11.2022).
14. Исследования зон активных разломов с применением метода микросейсмического зондирования / А.А. Добрынина, А.Н. Шагун, А.В. Саньков и др. / В сборнике: *Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции*, 2015. С. 66-68.
15. Образы кимберлитовых тел в волновых сейсмических полях // В сборнике: *Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе* / Е.Н. Черных, С.А. Борняков, А.А. Добрынина и др. / Материалы III Всероссийского совещания и II Всероссийской молодежной школы по современной геодинамике, 2016. С. 130-133.
16. Исследование Байтахской аномалии (Далдыно-Алакитский район) методами микросейсмического зондирования / Е.Н. Черных, А.А. Добрынина, С.А. Борняков и др. / В сборнике: *Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН*, 2017. С. 504-508.

Original Paper

UDC 550.34 © A.A. Dobrynina, V.A. Sankov, A.V. Ivanov, A.V. Sankov, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 88-93
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-88-93>

Title**APPLICATION OF PASSIVE SEISMOLOGY METHODS TO DETERMINE THE PARAMETERS OF A COAL MINE****Authors**

Dobrynina A.A.¹, Sankov V.A.¹, Ivanov A.V.¹, Sankov A.V.¹

¹ Institute of the Earth's crust of Siberian branch of Russian academy of sciences, 664033, Irkutsk, Russian Federation

Authors Information

Dobrynina A.A., PhD (Physics and Mathematics), Leading Researcher, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

Sankov V.A., PhD (Geol.-min.), Vice-director, e-mail: sankov@crust.irk.ru

Ivanov A.V., Doctor of Geol.-Min. Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Vice-director, e-mail: aivanov@crust.irk.ru

Sankov A.V., Junior Researcher, e-mail: alekseysankov@inbox.ru

Abstract

The article is devoted to the problem of developing methods and approaches to the search for mineral deposits. The paper considers the possibilities of using passive seismic methods to determine the structure of the upper part of the East-Beisky coal mine according to the data of a regional network of stations: methods of H/V-ratios and microseismic sounding based on variations in the amplitude-frequency composition of seismic waves when passing through a medium with different densities and seismic wave velocities. As a result, for the local area of the East-Beisky coal deposit, the depths of occurrence of layers of various densities and their thickness, as well as their density and seismic wave velocity, were determined. Comparison of the obtained data with the geological section showed good convergence of the results.

Keywords

Kuzbass-Khakassky coal region, Passive seismic exploration, Industrial explosion, Earthquake, Coal deposit, Microseismic sounding, H/V ratio.

References

1. Rawlinson N., Pozgay S. & Fishwick S. Seismic tomography: a window into deep Earth. *Geoscience*, 2010, (178), pp. 101-135.
2. Brocher T.M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust. *Bulletin of Seismological Society of America*, 2005, (95), pp. 2081-2092.
3. Hable S., Sigloch K., Stutzmann E., Kiselev S. & Barruol G. Tomography of crust and lithosphere in the western Indian Ocean from noise cross-correlations of land and ocean bottom seismometers. *Geophysical Journal International*, 2019, (219), pp. 924-944.
4. Kastle E.D., El-Sharkawy A., Boschi L., Meier T., Rosenberg C., Bellahsen N. & Weidle C. Surface wave tomography of the Alps using ambient-noise and earthquake phase velocity measurements. *Journal geophysical Research*, 2018, (123), pp. 1770-1792.
5. Schippkus S., Zigone D. & Bokelmann G. Ambient-noise tomography of the wider Vienna Basin region. *Geophysical Journal International*, 2018, (215), pp. 102-117.
6. Guerin G., Rivet D., Deschamps A., Larroque C., Mordret A., Dessa J.-X. & Martin X. High resolution ambient noise tomography of the Southwestern Alps and the Ligurian margin. *Geophysical Journal International*, 2020, Vol. 220, (2), pp. 806-820.
7. Nthaba B., Ikeda T., Nimiya H., Tsuji T. & Iio Y. Ambient noise tomography for a high-resolution 3D S-wave velocity model of the Kinki Region, Southwestern Japan, using dense seismic array data. *Earth Planets Space*, 2022, (74), pp. 96. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01654-x> (accessed 15.11.2022).

8. Lin F.C., Moschetti M.P. & Ritzwoller M.H. Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity maps. *Geophysical Journal International*, 2008, (173), pp. 281-298.

9. Bensen G.D., Ritzwoller M.H., Barmin M.P., Levshin A.L., Lin F. & Moschetti M.P. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements. *Geophysical Journal International*, 2007, (169), pp. 1239-1260.

10. Wathelet M., Jongmans D., Ohrnberger M. & Bonnefoy-Claudet S. Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over Vs inversion. *Journal of Seismology*, 2008, (12), pp. 1-19.

11. Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Korablev G.E. Patterns of formation of a microseismic field under the influence of local geological heterogeneities and sounding of the environment using microseisms // *Physics of the Earth*, 2008, (7), pp. 66-84. (In Russ.).

12. Yavorsky V.I. Yenisei-Abakan coal deposits. *Izvestiya Geologicheskoy Komissii*, 1921, Vol. 2, (10), 6 p. (In Russian) (In Russ.).

13. Official website. [Electronic resource]. Available at: <http://suek-khaskasia.ru/> (accessed 15.11.2022).

14. Dobrynina A.A., Shagun A.N., Sankov A.V. & Sankov V.A. Studies of active fault zones using the method of microseismic sounding. In the collection: Structure of the lithosphere and geodynamics. Materials of the XXVI All-Russian Youth Conference, 2015, pp. 66-68. (In Russ.).

15. Chernykh E.N., Borneyakov S.A., Dobrynina A.A. & Shagun A.N. Images of kimberlite bodies in wave seismic fields. In the collection: Modern geodynamics of Central Asia and hazardous natural processes: research results on a quantitative basis. Materials of the III All-Russian Conference and the II All-Russian Youth School on Modern Geodynamics, 2016, pp. 130-133. (In Russ.).

16. Chernykh E.N., Dobrynina A.A., Borneyakov S.A. & Shagun A.N. Study of the Baitakh anomaly (Daldyno-Alakitsky district) by microseismic sounding methods. In the collection: Geology and mineral resources of the north-east of Russia. Proceedings of the VII All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Geology of Diamond and Precious Metals of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 504-508. (In Russ.).

Acknowledgements

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate".

For citation

Dobrynina A.A., Sankov V.A., Ivanov A.V. & Sankov A.V. Application of passive seismology methods to determine the parameters of a coal mine. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 88-93. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-88-93.

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022