

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СВОЙСТВ И СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАРСТОВОГО ПРОВАЛА МЕТОДОМ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

И.Ю. Герасимова¹, М.М. Калашникова¹, В.Ю. Бобров¹

¹ Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия,
e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru

Аннотация: В пределах муниципального образования Березники (Пермский край) и в непосредственной близости к черте города расположено несколько участков ускоренных оседаний земной поверхности, связанных с затоплением рудника Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей. С целью оценки границ зон развития опасных процессов, влияющих на устойчивость зданий и сооружений, введена в действие система комплексного мониторинга. В комплекс исследований в качестве составной части включены малоглубинные сейсмические изыскания, нацеленные на оценку пространственного распределения структурно-физических параметров в разрезе. Рассмотрены результаты мониторинговых сейсмических исследований, обработанные в рамках классической теории метода преломленных волн и направленные на изучение изменений, происходящих в пределах верхней части разреза. Использованы материалы, полученные при работах по методике общей глубинной точки, стандартной для малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения, применяемой при изучении отражающих границ в разрабатываемом интервале разреза месторождения. Сопоставление упругих характеристик, сформированных для разных этапов мониторинговых исследований за трехлетний период, позволило определить преобладающие направления развития влияния карстового провала и установить статистически значимые негативные изменения значений скоростей преломленных волн.

Ключевые слова: малоглубинная сейсморазведка, метод преломленных волн, сейсмический мониторинг, верхняя часть разреза, калийный рудник.

Для цитирования: Герасимова И. Ю., Калашникова М. М., Бобров В. Ю. Сейсмический мониторинг свойств и строения верхней части разреза в зоне влияния карстового провала методом преломленных волн // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 169–179. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-169-179.

Seismic monitoring of properties and structures of the upper cross-section the zone of a doline by the refraction shooting technique

I.Yu. Gerasimova¹, M.M. Kalashnikova¹, V.Yu. Bobrov¹

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,
e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru

Abstract: In the territory of the municipal formation Berезniki (Perm Krai), in close proximity to the town boundary, there are several sites of accelerated ground subsidence connected with mine flooding at the Upper Kama deposit of potash and magnesium salts. Intended to delineate zones

of hazardous processes affecting stability of buildings and structures, the integrated monitoring system is put into operation. The research package includes shallow seismic investigations aimed to estimate spatial distribution of structural and physical parameters in the cross-section. The article discusses the seismic monitoring results interpreted under the classical refraction theory and meant for studying changes in the upper cross-section. The analysis also involves data obtained by the common-depth-point method which is standard for high-resolution shallow seismography used in the studies of reflection boundaries within a cross-section interval of mineral deposit. The comparison of the elastic characteristics collected at different stages of monitoring for a period of 3 years identifies the prevailing trends of influence of the doline and specifies the statistically significant changes in the values of the refraction velocities.

Key words: shallow seismography, refraction shooting technique, seismic monitoring, upper cross-section, potash mine.

For citation: Gerasimova I. Yu., Kalashnikova M. M., Bobrov V. Yu. Seismic monitoring of properties and structures of the upper cross-section the zone of a doline by the refraction shooting technique. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):169-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-169-179.

Введение

Значительная часть муниципального образования Березники (Пермский край) расположена непосредственно над шахтным полем затопленного рудника Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей [1]. Интенсивная техногенная нагрузка на недра неизбежно приводит к изменениям инженерно-геологических условий, что может провоцировать развитие негативных процессов в различных интервалах изучаемого разреза. В пределах городской застройки и в непосредственной близости к черте города расположено несколько участков ускоренных оседаний земной поверхности. Здесь активно развиваются опасные геологические процессы: карст, суффозия, возникают провалы и др. Один из указанных участков, характеризующихся возможной негативной динамикой физических свойств и структуры породного массива, расположен в юго-восточной части г. Березники, вблизи контура засыпанной карстовой воронки (рис. 1).

В строении верхней части разреза (ВЧР) участка исследований принимают участие (по данным бурения параметрических скважин) рыхлые четвертичные образования (суглинки, песок), перекрывающие пермские отложения (известня-

ки, мергели, их глинистые разности) терригенно-карбонатной толщи (ТКТ).

К особенностям геологического строения участка исследований относится слабое согласование природных структурных особенностей строения изучаемых интервалов водозащитной толщи и верхней части разреза. Здесь отмечается значительный отрицательный градиент отложений соляной толщи юго-западного простирания, определявший направление движения подземных вод в процессе затопления рудника. По подошве терригенно-карбонатной толщи, перекрывающей соляные отложения и представляющей собой коренные породы ВЧР, данный тренд приобретает субширотное — западное простирание. Также в терригенно-карбонатной толще отмечены протяженные природные зоны, ослабленные по физико-механическим свойствам (смена относительно устойчивых пород слабосвязанными).

С целью оценки границ зон развития опасных процессов, влияющих на устойчивость технических зданий и сооружений в пределах участка изысканий, введена в действие система комплексного мониторинга [2—4]. В комплекс исследований в качестве составной части включены малоглубинные сейсмические

изыскания, нацеленные на оценку пространственного распределения структурно-физических параметров в разрезе.

В настоящей работе рассмотрены результаты мониторинговых сейсмических исследований в пределах верхней части разреза, обработанные в рамках теории метода преломленных волн. Используются материалы, полученные при работах по методике общей глубинной точки, стандартной для малоглубинной сейсморазведки, применяемой в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей [5, 6].

Методы и результаты

Наземные невзрывные малоглубинные сейсморазведочные исследования высокого разрешения с использованием интерференционной системы наблюдений по методике общей глубинной точки, выполнялись в пределах участка исследований в 2016 и 2018 гг. и распределялись по 10 профильным линиям. При

этом изменившиеся за два года поверхностные сейсмогеологические условия не позволили полностью повторить конфигурацию профильных линий (рис. 1), что внесло искажения в получаемые при мониторинге данные, но, в целом, не отразилось на общих пространственных построениях, формируемых для решения задачи локализации участков с негативной динамикой физических свойств и структуры породного массива.

Высокий фон средне- и низкоскоростных волн-помех, осложненный техногенным шумом по всему спектру сейсмической записи, обуславливает необходимость применения нестандартных систем наблюдений, невзрывного источника малой мощности и широкодиапазонной цифровой сейсмостанции. С учетом указанных фактов, а также на базе теоретических положений об особенностях формирования поля упругих волн в интервале малых глубин, в пределах участка исследований применялись про-

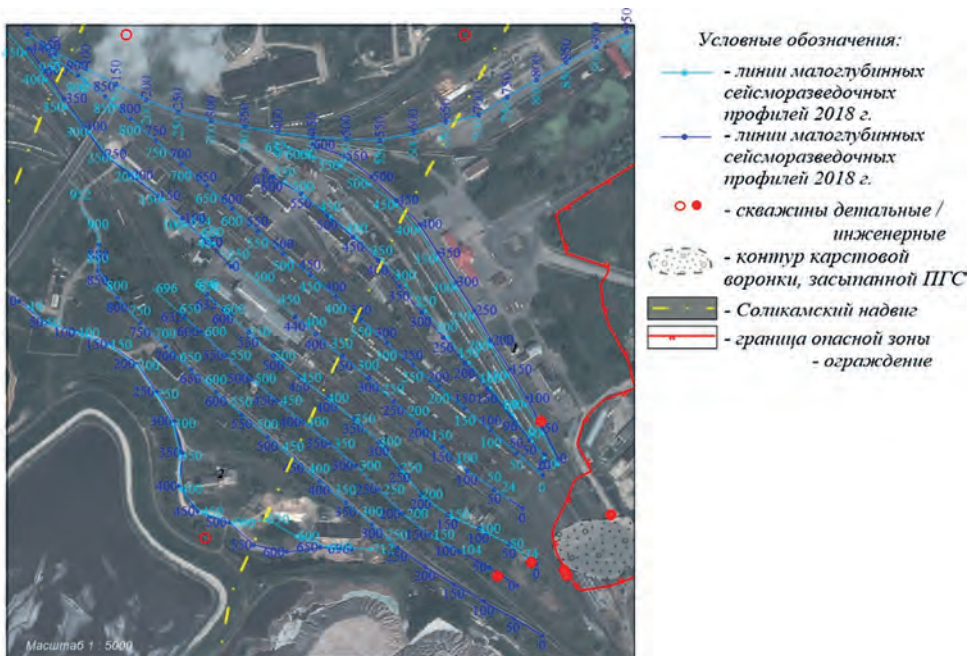


Рис. 1. Обзорная схема участка исследований
Fig. 1. Synoptic layout of study area

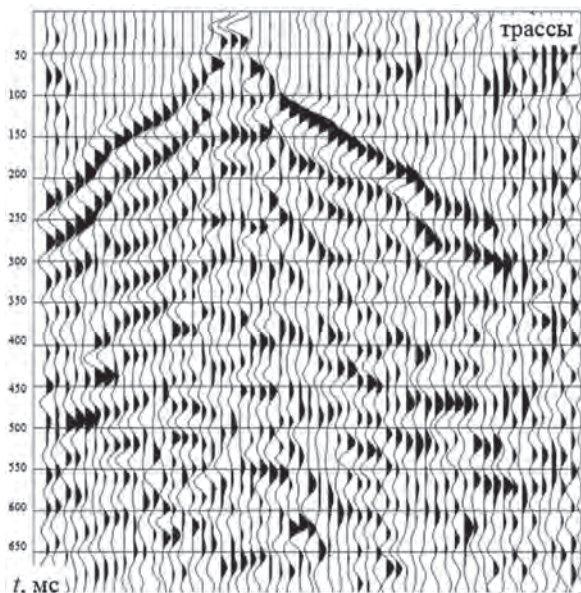


Рис. 2. Пример сейсмограммы ОПВ

Fig. 2. Example CSP seismogram

дольные и непродольные системы наблюдений с разнесенными линиями приема и возбуждения. В качестве источника колебаний использовался поверхностный источник «Кировец-10» ударного типа. Для усиления упругих колебаний применялось накапливание до 6 воздействий на каждом пикете наблюдений с последующей записью суммарной сейсмограммы (рис. 2). С целью регистрации применялись серийные геофоны GS-20DX, сгруппированные по 5 штук в условиях промышленного производства. Сбор сейсморазведочных данных осуществлялся разработанным для регистрации высокочастотных сигналов сейсмоакустическим регистратором IS-128, представляющим собой телеметрическую систему сбора информации.

Получаемая при исследованиях сейсмическая волновая картина (рис. 2), соответствующая массиву соляных и надсоляных пород, включающих разнообразные естественные и техногенные неоднородности, осложнена волнами-помехами разной природы. Благодаря

неформализованной цифровой обработке [7–9] в рамках специализированных программ, построенной на общепринятых положениях теории упругости с учетом повышенного частотного диапазона волнового поля, получаемые характеристики сейсмической записи позволяют решать широкий круг задач, в т.ч. изучать особенности строения ВЧР.

При изучении приповерхностной части разреза наиболее простым и традиционным способом является классическая методика, базирующаяся на вычислениях средних и граничных скоростей в рамках слоисто-однородной модели ВЧР с малым количеством преломляющих границ. Для корреляции осей синфазности первых вступлений и расчета параметров ВЧР в рамках указанной модели применялось программное обеспечение SPS-PC. Данная методика позволяет в первом приближении учесть искажения, вносимые во времена регистрации волн пересеченным рельефом и изучить приповерхностные скоростные неоднородности геологического разреза [10]. При

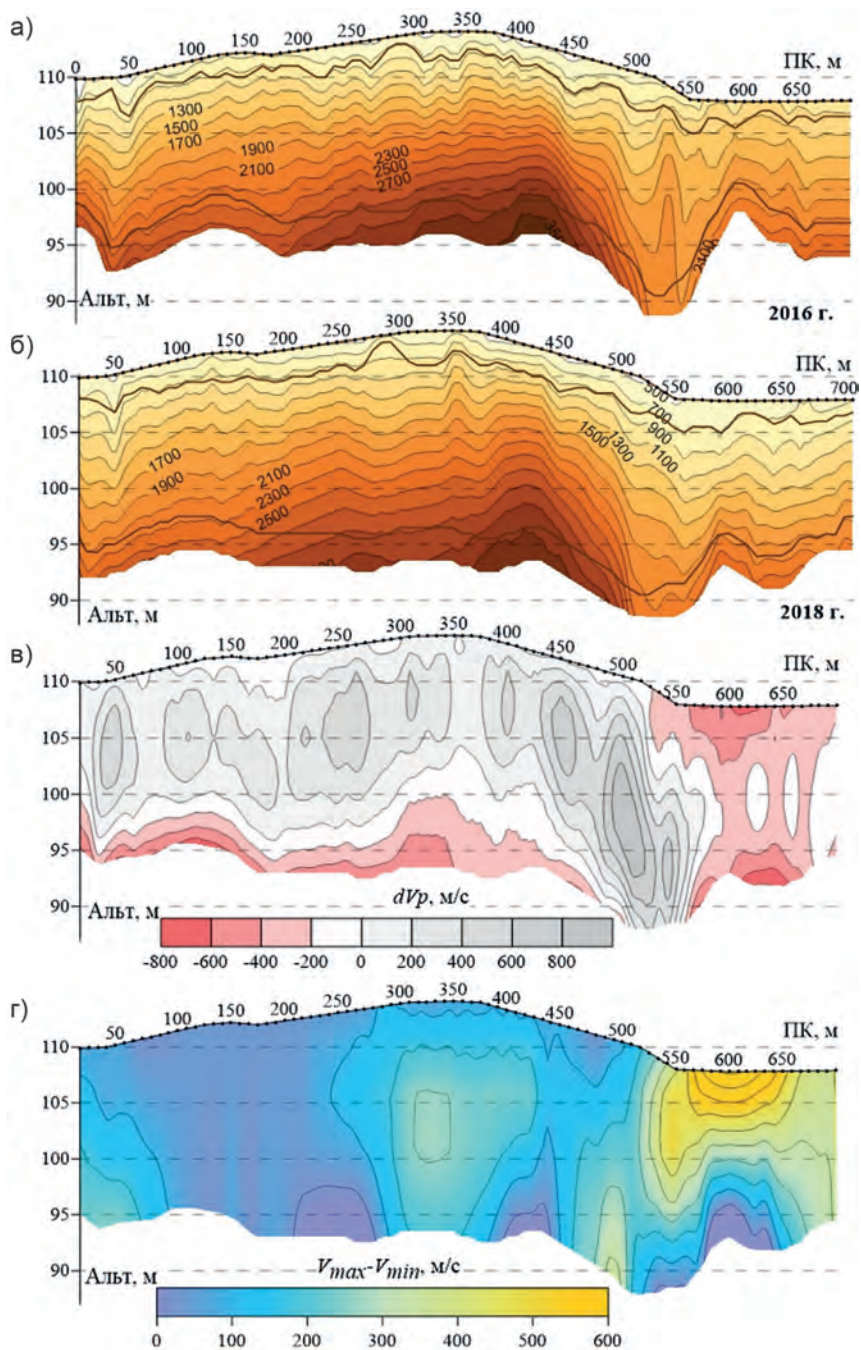


Рис. 3. Результаты обработки данных в рамках метода преломленных волн вдоль линии профиля: скоростные разрезы, полученные в 2016 г. (а) и 2018 г. (б); разность (в) и размах (г) значений скоростей за период наблюдений

Fig. 3. Results of data processing under refraction shooting technique along profile: velocity sections obtained in 2016 (a) and 2018 (b); difference (c) and (d) peak-to-peak values of velocities over the period of monitoring

этом главным ограничением методики является часто встречающаяся на практике вероятность скоростной инверсии разреза, не позволяющая использовать алгоритмы расчета упругих параметров в рамках теории преломленных волн (явление «выпадения слоя»). Преимуществом использования преломленных волн является тот факт, что процесс корреляции осей синфазности первых вступлений в настоящее время реализован в большом количестве специализированных программных продуктов (что связано с необходимостью расчета статических поправок) и практически не требует временных затрат, связанных с дополнительной обработкой данных.

Несмотря на различную природу инженерно-геологических моделей процессов, обуславливающих оседания земной поверхности в пределах участка исследований, распределение скоростей в ВЧР определяется изменениями литологии, степенью разрушенности и водонасыщенности, а также морфологией консолидированных (коренных) пород. Указанные факторы, как отмечается в специализированной литературе [10, 11], приводят к изменчивости вычисляемых кинематических характеристик, заметных при мониторинговых исследованиях, позволяющих проследить основные тенденции изменения контрастности упругих параметров во времени и тем самым оценить потенциальную опасность процессов, протекающих в пределах участков ускоренных оседаний, на устойчивость и состояние городской застройки в области затопленного рудника [12].

По сейсмограммам, полученным в результате мониторинговых малоглубинных сейсмических исследований, в рамках метода преломленных волн формировались разрезы верхней части массива вдоль профильных линий. В целом для всего интервала изучаемых глубин в пределах участка исследований наблю-

дается увеличение значений скоростей с увеличением глубины проникновения волн продольного типа. При сопоставлении разрезов разных лет, сформированных для одного из профилей и представленных в качестве примера на рис. 3, отмечаются тенденции погружения кровли коренных пород и уменьшения значений скоростей продольных волн, наиболее ярко проявляющееся в коренных породах, где на отдельных участках величина разности скоростных характеристик за 2-летний период исследований достигает 500 м/с (рис. 3, в). Наиболее интенсивное уменьшение скоростей приурочено к краевой части профиля, максимально приближенной к мульде оседания карстового провала [13]. В пределах указанного участка также наблюдаются высокие значения размаха скоростей (разнице между максимальными и минимальными значениями), особенно в приповерхностной толще (рис. 3, г).

Указанные отрицательные изменения количественных оценок параметров волнового поля позволяют отнести весь рассматриваемый интервал профильной линии к области, в пределах которой происходят наибольшие трансформации упругих характеристик, т.е. к области с нарушенной структурой разреза.

При анализе структурных схем, сформированных на первом этапе мониторинговых исследований, выявлено слабое согласование структурных отметок рельефа земной поверхности и кровли коренных пород (рис. 4). Для границы, соответствующей кровле терригенно-карбонатной толщи отмечается ряд локальных особенностей строения в виде прогибов на севере-северо-западе и юго-востоке участка исследований. В пределах северо-западной зоны отмечается снижение значений скоростей распространения упругих волн в пределах приповерхностной части разреза. Низкоскоростная зона пространственно коррели-

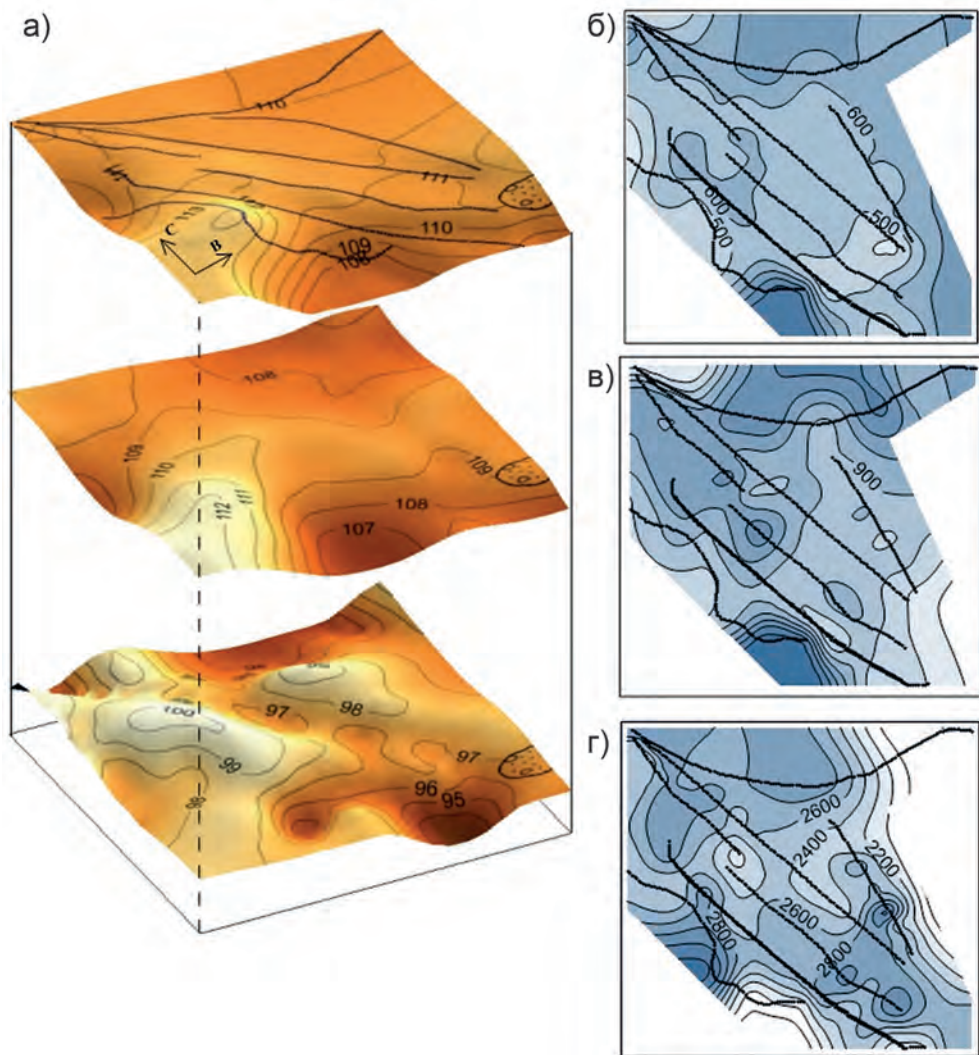


Рис. 4. Аксонометрические проекции рельефа земной поверхности, кровли ЗМС и коренных пород ТКТ (а); схемы средних и граничных скоростей в интервалах глубин: 0–4 м (б); 4–18 м (в); 18–22 м (г)

Fig. 4. Axonometric projections of ground relief, roof of low-velocity zone roof and terrigenous-carbonate parent rock mass (a); patterns of average and boundary velocity within depth intervals: 0–4 m (b); 4–18 m (v); 18–22 m (g)

руется с прогибом, также выраженным в отложениях ТКТ (рис. 4, а). Юго-восточная зона приурочена к области градиентов как упругих свойств рыхлых отложений, так и их структурных отметок кровли ТКТ.

Указанные участки согласуются с областями наибольшей изменчивости струк-

турных отметок целевых отражающих горизонтов, приуроченных к литолого-стратиграфическим границам, залегающим на глубинах до 300 м.

Таким образом, область возможного влияния провала, накладывающаяся на природную ослабленную зону в ВЧР, локализуется в юго-восточной части уча-

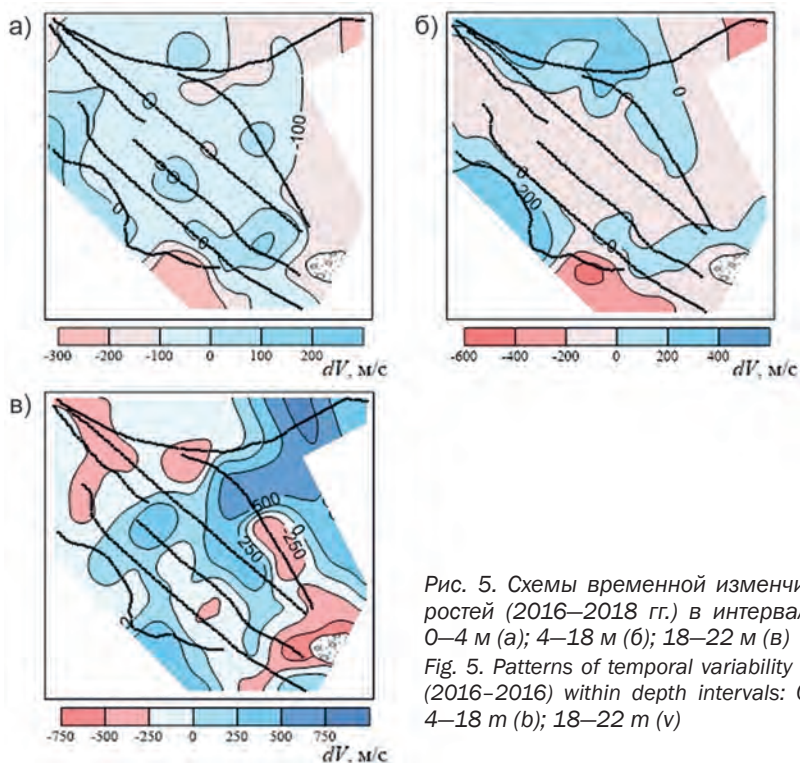


Рис. 5. Схемы временной изменчивости скоростей (2016–2018 гг.) в интервалах глубин: 0–4 м (а); 4–18 м (б); 18–22 м (в)

Fig. 5. Patterns of temporal variability of velocities (2016–2016) within depth intervals: 0–4 m (a); 4–18 m (b); 18–22 m (v)

стка исследований на удалении в 150–200 м от западной границы зоны обрушения (рис. 1).

В рамках пространственных построений, наряду с оценкой изменений границ зоны с негативными осложнениями

волновой картины волновой картины в интервале ВЧР, выполнен сравнительный анализ количественных оценок скоростей распространения упругих волн в различных интервалах исследуемой части геологического разреза.

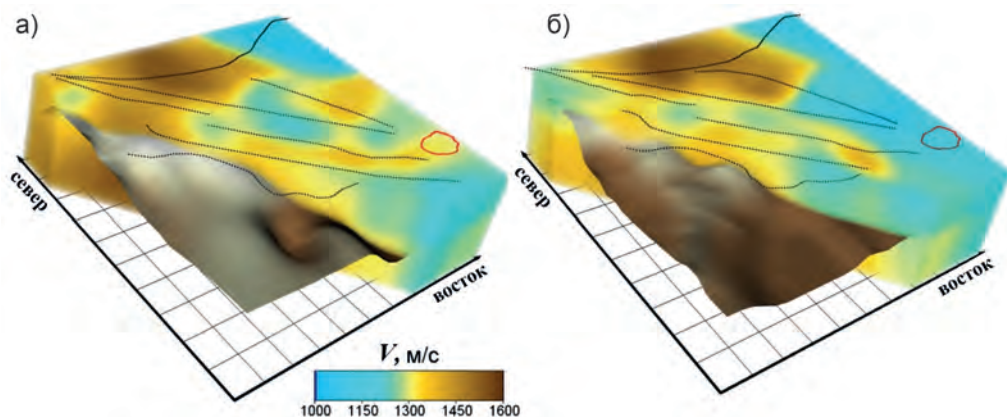


Рис. 6. Пространственное распределение скоростей в верхней части разреза и аксонометрическая проекция кровли коренных пород, сформированные по данным 2016 г. (а) и 2018 г. (б)

Fig. 6. Spatial distribution of velocities in upper cross-section and axonometric projection of parent rock mass roof as of 2016 (a) and 2018 (b)

В целом на площадных схемах распределения скоростных параметров пространственная конфигурация и величина изменений значений упругих свойств в пределах рассматриваемых интервалов геологического разреза существенно не изменилась. Для выделенных областей с осложнениями волнового поля, как и на этапе 2016 г., отмечается относительное снижение значений упругих параметров породного массива в тех же интервалах геологического разреза.

Для оценки изменчивости свойств ВЧР использованы результаты определения распределения скоростей распространения упругих волн продольного типа в интервалах глубин: до 4 м, 4–18 м, 18–22 м на этапах 2016 и 2018 г. (рис. 5). В пределах площади работ отмечается ряд локальных областей разнонаправленной изменчивости скоростных свойств и в различных интервалах ВЧР.

Дополнительно определен диапазон статистически значимых среднеквадратических отклонений массива скоростей преломленных волн (таблица). Согласно этим значениям, статистически значимые негативные изменения скоростей преломленных волн отмечаются в пределах юго-восточной области с осложнениями волнового поля в интервале верхней части разреза (интервал глубин 18–22 м) в непосредственной близости к западной границе провала и на юге — на участке расширения данной области (интервал глубин 4–22 м). Указанные зоны не выходят за пределы района с осложнениями волнового поля, выявленной в 2016 г.

Сопоставление параметров ВЧР в пространстве позволяет более информативно представить указанные изменения структуры и свойств породного массива (рис. 6). В частности, ослабленная юго-восточная зона характеризовалась в 2016 г. значительным структурным градиентом кровли ТКТ и пониженными

Среднеквадратическое отклонение значений интервальных скоростей
Standard deviation of interval velocities

Интервал глубин, м	Значение отклонения, м/с
0–4	74
4–18	196
18–22	317

значениями скоростей, что может являться благоприятным фактором для активизации негативных гидрогеологических процессов [4, 5, 13]. На следующем этапе наблюдений (2018 г., рис. 6, б) величина структурного градиента несколько уменьшилась за счет общего погружения преломляющей границы. При этом наблюдается значительное расширение области пониженных скоростей в широтном и субмеридиональном направлениях.

Заключение

Таким образом, в результате мониторинговых сейсморазведочных исследований (в комплексе с результатами электроразведки) установлено, что в пределах изучаемой территории в верхней части разреза в западном направлении развития негативной динамики физических свойств и структуры породного массива не отмечается.

Преобладающее направление развития влияния провала происходит в южном, юго-западном и, крайне слабо, в северо-западном направлениях. Статистически значимые негативные изменения значений скоростей преломленных волн отмечаются в пределах юго-восточной области с осложнениями волнового поля в непосредственной близости к зоне провала. Возникновение и дальнейшее развитие негативных процессов в данной области, вероятно, вызвано комплексным влиянием провала и наличием природной ослабленной зоны в терригенно-карбонатной толще, выявленной в 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / Под ред. Н. М. Джиноридзе. — СПб.: Соликамск, 2000. — 400 с.
2. Герман В. И. Прогноз обрушений на рудниках по данным сейсмического мониторинга // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — № 2. — С. 99–109. DOI: 10.1134/S1062739114020124.
3. Malovichko A., Malovichko D., Shulakov D., Dyagilev R. Multi scale seismicity at potash mines. main results of the long-term seismic monitoring at Verkhnekamskoye deposit // International multidisciplinary scientific geoconference surveying geology and mining ecology management, SGEM, 2015, Vol. 3(1), pp. 485–492.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на калийных рудниках ОАО «Сильвинит». — Новосибирск: Наука, 2011. — 487 с.
5. Дягилев Р. А., Шулаков Д. Ю., Верхоланцев А. В., Глебов С. В. Мониторинг сейсмических процессов в калийных рудниках: результаты наблюдения и перспективы развития // Горный журнал. — 2013. — № 6. — С. 50–54.
6. Санфилов И. А., Степанов Ю. И., Фаткин К. Б., Герасимова И. Ю., Никифорова А. И. Малоглубинные геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийных солей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2013. — № 6. — С. 71–77.
7. Cai H., Li Y., He G., Zou W., Liu K., Long H., He Z. Instantaneous spectrum decomposition and fast interpretation of broadband seismic data // Shiyou Diqiu Wuli Kantan, 2014, Vol. 49, no 5, pp. 932–939.
8. Жикин А. А. Оптимизация и совершенствование графа цифровой обработки сейсморазведочных данных при поисках карста / Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. Материалы Международного симпозиума — Пермь: ПГНИУ, 2015. — С. 84–87.
9. Khoshnavaz M. J., Bóna A., Hossain M. S., Urosevic M., Chambers K. Diffractivity — another attribute for the interpretation of seismic data in hard rock environment, a case study // Interpretation, 2016. Vol. 4, no 4, pp. B23–B32.
10. Спасский Б. А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. — 184 с.
11. Ciantia M. O., Castellanza R., Crosta G. B., Hueckel T. Effects of mineral suspension and dissolution on strength and compressibility of soft carbonate rocks // Engineering Geology, 2015, Vol. 184, pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.10.024.
12. Duan C., Yan C., Xu B., Zhou Y. Crosshole seismic ct data field experiments and interpretation for karst caves in deep foundations // Engineering Geology, 2017, Vol. 228, pp. 180–196. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.08.009.
13. Осипов В. И., Барях А. А., Санфилов И. А., Мамаев Ю. А., Ястребов А. А. Карстовая опасность при затоплении калийного рудника в г. Березники Пермского края Российской Федерации // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2014. — № 4. — С. 356–361. **ГИАС**

REFERENCES

1. *Proterotektonicheskie osnovy bezopasnoy ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magnievyykh soley*. Pod red. N. M. Dzhinoridze [Proterotectonic bases of safe operation of the Upper Kama deposit of potash-magnesium salts. Dzhinoridze N. M. (Ed.)], Saint-Petersburg, Solikamsk, 2000, 400 p.
2. German V. I. Rock failure prediction in mines by seismic monitoring data. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 2, pp. 99–109. DOI: 10.1134/S1062739114020124. [In Russ].
3. Malovichko A., Malovichko D., Shulakov D., Dyagilev R. Multi scale seismicity at potash mines. main results of the long-term seismic monitoring at Verkhnekamskoye deposit. *International multidisciplinary scientific geoconference surveying geology and mining ecology management*, SGEM, 2015, Vol. 3(1), pp. 485–492.

4. Metodicheskoe rukovodstvo po vedeniyu gornykh rabot na kaliynykh rudnikakh OAO «Sil'vinit» [Methodological guidelines for mining in the potash mines of OJSC Silvinit], Novosibirsk, Nauka, 2011, 487 p. [In Russ].

5. Dyagilev R.A., Shulakov D.Yu., Verkholantsev A.V., Glebov S.V. Seismic monitoring in potash mines: observation results and development aspects. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 6, pp. 50–54. [In Russ].

6. Sanfirov I.A., Stepanov Yu.I., Fat'kin K.B., Gerasimova I.Yu., Nikiforova A.I. Shallow geophysical exploration of the upper kama potash salt deposit. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no 6, pp. 71–77. [In Russ].

7. Cai H., Li Y., He G., Zou W., Liu K., Long H., He Z. Instantaneous spectrum decomposition and fast interpretation of broadband seismic data. *Shiyou Diqiu Wuli Kantan*, 2014, Vol. 49, no 5, pp. 932–939.

8. Zhikin A.A. Optimization and improvement digital processing graph of seismic data in the karst investigations. *Ekologicheskaya bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh rayonakh*. Proceedings of the International Symposium, Perm, PGNIU, 2015, pp. 84–87. [In Russ].

9. Khoshnavaz M.J., Bóna A., Hossain M.S., Urosevic M., Chambers K. Diffractivity – another attribute for the interpretation of seismic data in hard rock environment, a case study. *Interpretation*, 2016. Vol. 4, no 4, pp. B23–B32.

10. Spasskiy B.A. *Uchet verkhney chasti razreza v seysmorazvedke* [Accounting for the weathering zone in seismic exploration], Irkutsk, Izd-vo Irkut. un-ta, 1990, 184 p.

11. Ciantia M.O., Castellanza R., Crosta G.B., Hueckel T. Effects of mineral suspension and dissolution on strength and compressibility of soft carbonate rocks. *Engineering Geology*, 2015, Vol. 184, pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.10.024.

12. Duan C., Yan C., Xu B., Zhou Y. Crosshole seismic ct data field experiments and interpretation for karst caves in deep foundations. *Engineering Geology*, 2017, Vol. 228, pp. 180–196. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.08.009.

13. Osipov V.I., Baryakh A.A., Sanfirov I.A., Mamaev Yu.A., Yastrebov A.A. Karst hazard upon the flooding of potassium mine in Bereznyaki town (Perm krai, Russian Federation). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2014, no 4, pp. 356–361. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Герасимова Ирина Юрьевна¹ — канд. геол.-минерал. наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: gerasimova@mi-perm.ru,

Калашникова Марина Михайловна¹ — ведущий инженер, e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru,

Бобров Валерий Юрьевич¹ — младший научный сотрудник, ¹ Горный институт Уральского отделения РАН.

Для контактов: Калашникова М.М., e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.Yu. Gerasimova¹, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Assistant Professor, Senior Researcher, e-mail: gerasimova@mi-perm.ru,

M.M. Kalashnikova¹, Leading Engineer, e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru,

V.Yu. Bobrov¹, Junior Researcher,

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia,

Corresponding author: M.M. Kalashnikova, e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru.

