

УДК 622.02:550.3

**Шевченко Максим Дмитриевич**  
младший научный сотрудник,  
лаборатория технологии снижения риска  
катастроф при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [maksim\\_shevchenko97@inbox.ru](mailto:maksim_shevchenko97@inbox.ru)

**Мельник Виталий Вячеславович**  
кандидат технических наук,  
заведующий отделом геомеханики,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [melnikvv74@mail.ru](mailto:melnikvv74@mail.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ  
ПОРОД НА ТЕРРИТОРИИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ШАХТНОГО  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО  
КОПРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ\***

*Аннотация:*

*Представлен опыт применения комплекса геофизических методов для изучения геолого-геофизического строения верхней части геологического разреза на территории строительства шахтного эксплуатационного копра. Используемые в исследовании геофизические методы позволяют определить причины развития деформации зданий и сооружений, что позволяет принять соответствующие меры и предотвратить риск возникновения природно-техногенных катастроф. Представлен краткий обзор примеров аварийного состояния зданий и сооружений, связанного с развитием геодинамических процессов на разных территориях РФ, что определяет актуальность выполнения исследований. Цель работы заключается в проведении исследования геомеханического состояния массива горных пород на территории строительства шахтного эксплуатационного копра с использованием геофизических методов. Основная решаемая задача в исследованиях состоит в снижении риска природно-техногенных катастроф, связанных с деформацией зданий и сооружений на территориях строительства и эксплуатации подземных горных выработок. Используются два геофизических метода – спектрального сейсмопрофилирования, являющегося оптимальным с точки зрения исследования структурных особенностей массива горных пород за счет хорошей информативности получаемых результатов и простой возможности проведения измерений и георадарного зондирования, используемого для изучения неоднородностей почвы, мощности пластов различного*

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.051

**Shevchenko Maxim D.**  
Junior Researcher,  
Laboratory of technology for reducing the risk  
of catastrophes in subsoil use,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka,  
e-mail: [maksim\\_shevchenko97@inbox.ru](mailto:maksim_shevchenko97@inbox.ru)

**Melnik Vitaliy V.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of Department of Geomechanics,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [melnikvv74@mail.ru](mailto:melnikvv74@mail.ru)

**STUDY OF THE GEOMECHANICAL  
STATE OF THE ROCK MASS  
ON THE CONSTRUCTION SITE OF  
A MINE PRODUCTION HEADFRAME  
USING GEOPHYSICAL METHODS**

*Abstract:*

*This article presents the experience of using a set of geophysical methods to study the geological and geophysical structure of the upper part of the geological section on the territory of construction of a mine production headframe. The geophysical methods used in the study make it possible to determine the reasons for the development of deformation of buildings and structures, which makes it possible to take appropriate measures and prevent the risk of natural and man-made disasters. A brief overview of examples of emergency conditions of buildings and structures associated with the development of geodynamic processes in different territories of the Russian Federation is presented, which determines the relevance of the research. The purpose of the work is to conduct a study of the geomechanical state of the rock mass in the construction area of the mine production headframe using geophysical methods. The main problem to be solved in the research is to reduce the risk of natural and man-made disasters associated with the deformation of buildings and structures in the areas of construction and operation of underground mines. The complex of geophysical methods used consists of two methods: the spectral seismic profiling method, which is optimal from the point of view of studying the structural features of the rock mass, due to the good information content of the results obtained and the simple possibility of taking measurements, and the georadar sounding method used to study soil heterogeneities, power layers of various types, determination of groundwater levels and other factors affecting the integrity of buildings and structures. Results of research by this complex of geophysical studies have shown their effectiveness and made it possible to identify factors*

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема 3 (2022-2024).

типа, определения уровня грунтовых вод и других факторов, влияющих на целостность зданий и сооружений. Результаты, полученные с помощью данного комплекса геофизических исследований, показали свою эффективность и дали возможность выявить факторы, влияющие на деформацию сооружения, что позволит устранить проблему деформации зданий и сооружений и обеспечить их безопасную эксплуатацию.

*Ключевые слова:* геомеханические исследования, геофизика, георадиолокация, спектральное сейсмопрофилирование, деформация зданий и сооружений, геодинамические процессы, природно-техногенные катастрофы, структурные неоднородности.

*influencing the deformation of a structure, which will eliminate the problem of deformation of buildings and structures and ensure their safe operation.*

*Key words:* geomechanical studies, geophysics, ground penetrating radar, spectral seismic profiling, deformation of buildings and structures, geodynamic processes, natural and man-made disasters, structural heterogeneities.

### Введение

Обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений при недропользовании является одной из актуальных задач на протяжении всей истории горного дела. Особую важность данная задача приобретает, когда речь идет о строительстве на территории подземной отработки месторождений полезных ископаемых. Неуклонный рост техногенного воздействия на геологическую среду вызывает возрастающее распространение различных эндогенных и экзогенных геодинамических процессов, что приводит к риску возникновения природно-техногенных катастроф, таких как, например, развитие трещин в стенах здания бассейна «Дельфин» в г. Соликамске; деформации зданий и сооружений от оползневых процессов на территории г. Ставрополя [1]. Развитие деформации земной поверхности за счет суффозионного выноса дисперсных грунтов, за счет изменения гидродинамического режима подземных вод приводит к образованию трещин и деформации построек [2].

Одним из способов решения проблемы развития инженерно-геологических процессов и прогноза их развития является проведение инженерно-геофизических исследований. Согласно СП 11-105-97 Часть VI. «Правила производства геофизических исследований», одним из целевых критериев проведения геофизических работ является выявление и изучение геологических процессов и их изменений во времени [3]. Однако для получения разносторонней информации о местоположении структурных элементов, их параметров, а также инженерно-геологических и гидрогеологических условиях целесообразно применять комплекс геофизических методов, что позволит дать оценку состоянию горного массива по разным геофизическим свойствам.

Цель работы заключается в проведении исследования геомеханического состояния массива горных пород на территории строительства шахтного эксплуатационного копра с использованием геофизических методов, что позволит определить состояние горного массива и дать его оценку.

### Описание объекта исследования

Объектом исследования выступает массив вмещающих горных пород месторождения «Юбилейное», расположенный в пределах Баймак-Бурибайского рудного района на юге западного борта Магнитогорской мегазоны [4]. Месторождение осложнено складчатыми деформациями и крутопадающими структурно-тектоническими нарушениями [5].

Согласно проведенным инженерно-геологическим изысканиям, в 2017 г. в пределах участка исследований было выделено пять инженерно-геологических элементов

(ИГЭ). Основанием котлована, вырытого на глубину 12 – 13 м, является суглинок, засыпанный щебнем до глубины заложения фундаментов.

В 2023 г. коллективом отдела геомеханики ИГД УрО РАН было проведено рекогносцировочное исследование для получения информации о причинах возникновения неравномерного проседания грунта основания фундамента сооружений. При изучении структурных особенностей массива, подстилающего основание фундамента, было выполнено 9 профилей методом спектрального сейсмопрофилирования (ССП) и 9 профилей методом георадарного зондирования (ГРЗ), глубина исследований составила 80 и 15 м, соответственно.

#### *Методы проведения исследования*

Как показала практика [6 – 9], наиболее полную информацию об особенностях строения массива горных пород можно получить, используя комплекс геофизических методов, включающий метод СПП и ГРЗ.

*Метод спектрального сейсмопрофилирования.* Метод спектральной сейсморазведки был основан на использовании зависимости между спектральным составом собственного колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на дневную поверхность, и строением породного массива. Аппаратурно-методический комплекс СПП позволяет выявлять зоны тектонических нарушений (ЗТН), а также зоны повышенной трещиноватости. Сущность метода и методика проведения измерений описана по материалам изобретателя, более подробные сведения о методе представлены на сайте производителя оборудования [10].

*Метод георадиолокационных исследований.* Принцип работы метода георадиолокационного исследования основан на использовании излучения сверхширокополосных импульсов электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства [11]. Распространение электромагнитных волн в различных средах характеризуется скоростью  $V$ , которая определяется соотношением:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}},$$

где  $c$  – скорость распространения волны в вакууме;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость.

Зная скорость распространения волны и измерив время задержки сигналов –  $\Delta t$ , отраженных от границ среды, можно определить толщину слоя:

$$H = \frac{v \cdot \Delta t}{2}.$$

При проведении исследований использовался георадар «Око – 2» с антенным блоком АБ – 150 с центральной частотой 150 МГц. Обработка полученных данных проводилась в ПО Geoscan32.

#### *Результаты исследования*

По результатам исследования методом спектрального сейсмопрофилирования на СПП-разрезе, представленном на рис. 1, были выделены участки с высоким показателем сейсмической добротности (красная линия), расположенные на интервале от 0 до 45 м и простирающиеся на глубину от 40 до 80 м. Данная аномалия может указывать на наличие структурно-тектонических нарушений, которые могут повлиять на устойчивость опор копра ствола на участке исследования.

Методом георадарного зондирования были выявлены участки, на которых отчетливо видны карманы разуплотнения на глубину до 3 м и слабовыраженные аномалии, проявляющиеся на интервале 2 – 4 м, на глубине 3 – 7 м (рис. 2).

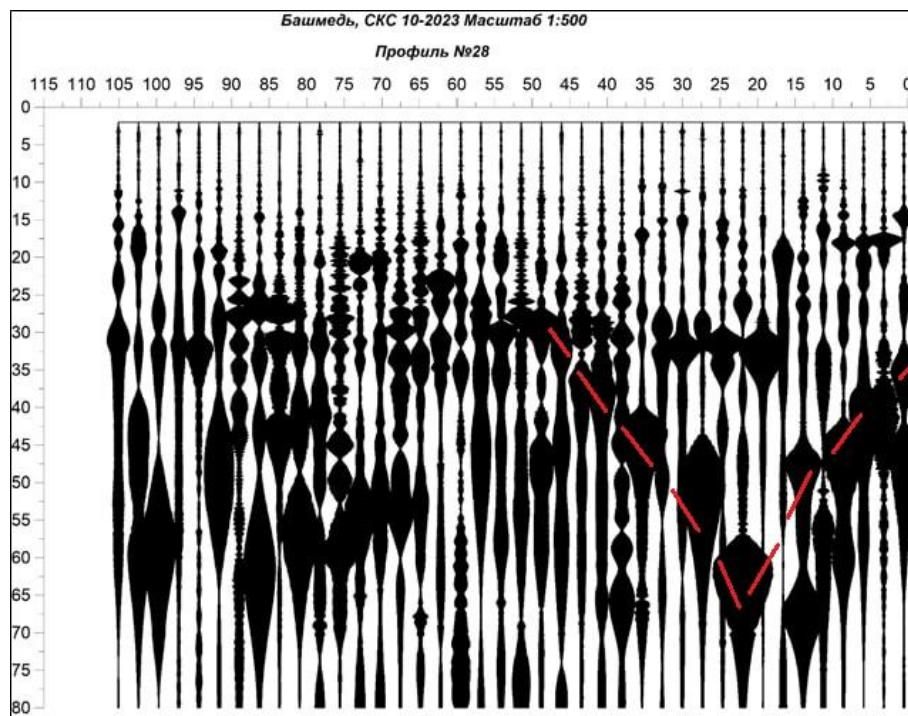


Рис.1. ССП – разрез участка исследований

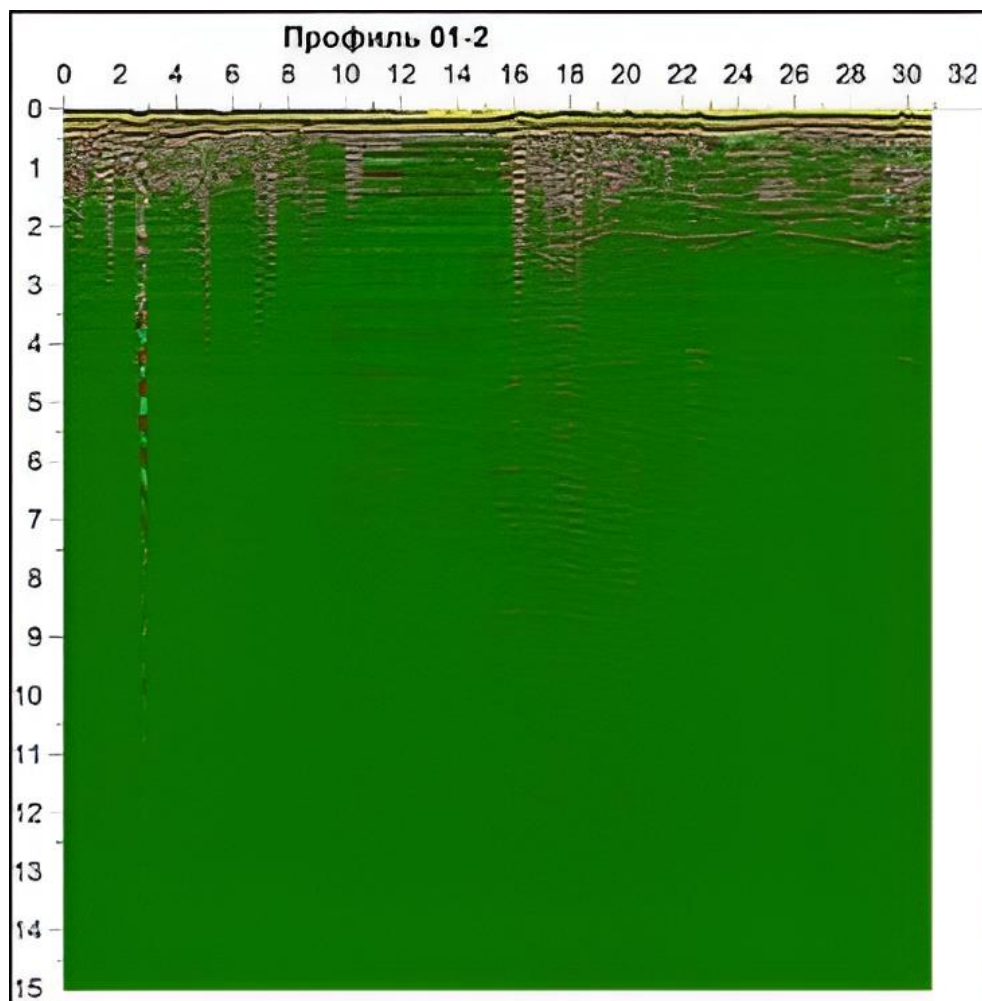


Рис. 2. Радиограмма участка исследований

По остальным профильным линиям как методом ССП, так и методом георадарного зондирования ярко выраженных аномалий не было определено.

### Заключение

Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к изменению равновесия в геологической среде и развитию инженерно-геологических процессов и явлений, что в свою очередь напрямую влияет на целостность зданий и сооружений и их безопасную эксплуатацию.

Применение современных геофизических методов при решении задач обеспечения безопасной эксплуатации различных объектов недропользования позволяет получить разностороннюю информацию о геологическом строении массива горных пород, его изменчивости, наличии структурно-тектонических нарушений и гидрогеологических условий. Полученная информация позволяет определить ряд факторов, влияющих на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений и, как следствие, дать им оценку и снизить риск возникновения природно-техногенных катастроф.

### Список литературы

1. Сербин В.В., Гальченко И.В., Газарян З.Э. и др., 2023. Проблемы надежной эксплуатации объектов водоснабжения города Ставрополя в сложных геологических условиях и при развитии оползневых процессов. *Наукосфера*, № 1 – 2, С. 262 – 267.
2. Шевченко М.Д., Мельник В.В., Замятин А.Л., 2023. Геофизические исследования на участках строительства и эксплуатации подземных рудников. *Проблемы недропользования*, № 1(36), С. 105 – 112. DOI 10.25635/2313-1586.2023.01.105
3. СП 11-105-97 Часть VI «Правила производства геофизических исследований». URL: <https://pkb-titan.ru/upload/library/SP/SP%2011-105-97-6.pdf?ysclid=lq52xqhpha337139016> (дата обращения 14.12.2023)
4. Викентьев И.В., Саенко А.Г., Карелина Е.В., Ежов А.И., & Трубкин Н.В., 2011. Минералогические особенности руд медноколчеданного месторождения юбилейное (Ю. Урал). *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, № 1, С. 84 – 90.
5. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2008 г.». Москва: Минерал, 2009.
6. Мельник В.В., 2021. Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. *Проблемы недропользования*, № 4(31), С. 36 – 43. DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.036.
7. Мельник В.В., Далатказин Т.Ш., Замятин А.Л., 2022. Решение задач безопасности ведения подземных горных работ при отработке угольных лав с использованием современных методов геофизики. *Проблемы недропользования*, № 4(35), С. 122 – 131. DOI 10.25635/2313-1586.2022.04.122. – EDN GXCPZW.
8. Харисов Т.Ф., Мельник В.В., Харисова О.Д., Замятин А.Л., 2020. Геофизические исследования массива горных пород в условиях подземного рудника. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 255 – 263. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-255-263.
9. Харисов Т.Ф., Мельник В.В., Харисова О.Д., Замятин А.Л., 2020. Геофизические исследования массива горных пород в условиях подземного рудника. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 255 – 263. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-255-263.
10. Гликман А.Г., 2002. *Физика и практика спектральной сейсморазведки. НТФ "Геофизпрогноз"*. URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (дата обращения: 03.12.2023)
11. Федоров М.П., 2022. Методика георадиолокационных исследований ледяного покрова (на примере р. Лена на участке Табагинский мыс - Кангаласский мыс). *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, № 5, С. 18 – 32. DOI 10.35567/19994508\_2022\_5\_2.

## References

1. Serbin V.V., Gal'chenko I.V., Gazaryan Z.E. i dr., 2023. Problemy nadezhnoi ekspluatatsii ob"ektov vodosnabzheniya goroda Stavropolya v slozhnykh geologicheskikh usloviyakh i pri razvitiі opolznevykh protsessov [Problems of reliable operation of water supply facilities in Stavropol in difficult geological conditions and during the development of landslide processes]. *Naukosfera*, № 1 – 2, P. 262 – 267.
2. Shevchenko M.D., Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2023. Geofizicheskie issledovaniya na uchastkakh stroitel'stva i ekspluatatsii podzemnykh rudnikov [Geophysical studies at sites of construction and exploitation of underground ore mines]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1(36), P. 105 – 112. DOI 10.25635/2313-1586.2023.01.105
3. SP 11-105-97 Chast' VI "Pravila proizvodstva geofizicheskikh issledovaniĭ" [Part VI "Rules for the production of geophysical surveys"]. URL: [https://pkb-titan.ru/upload/library/SP/SP\\_11-105-97-6.pdf?ysclid=lq52xqhpha337139016](https://pkb-titan.ru/upload/library/SP/SP_11-105-97-6.pdf?ysclid=lq52xqhpha337139016) (data obrashcheniya 14.12.2023)
4. Vikent'ev I.V., Saenko A.G., Karelina E.V., Ezhov A.I., Trubkin N.V., 2011. Mineralogicheskie osobennosti rud mednokolchedannogo mestorozhdeniya yubileinoe (Yu. Ural) [Mineralogical features of ores of the Yubileynoye copper-crusted deposit (Yu. The Urals)]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*, № 1, P. 84 – 90.
5. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2008 g." [State report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2008"]. Moscow: Mineral, 2009.
6. Mel'nik V.V., 2021. Geomekhanicheskii monitoring geofizicheskimi metodami pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom [Geomechanical monitoring by geophysical methods in the development of mineral deposits by the open method]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), P. 36 – 43. DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.036.
7. Mel'nik V.V., Dalatkazin T.Sh., Zamyatin A.L., 2022. Reshenie zadach bezopasnosti vedeniya podzemnykh gornykh rabot pri otrabotke ugol'nykh lav s ispol'zovaniem sovremennykh metodov geofiziki [Solving the safety problems of conducting underground mining operations during the working out the coal lavas with use of modern methods of geophysics]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(35), P. 122 – 131. DOI 10.25635/2313-1586.2022.04.122. – EDN GXCPZW.
8. Kharisov T.F., Mel'nik V.V., Kharisova O.D., Zamyatin A.L., 2020. Geofizicheskie issledovaniya massiva gornykh porod v usloviyakh podzemnogo rudnika [Geophysical studies of the rock mass in the conditions of an underground mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 255 – 263. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-255-263.
9. Kharisov T.F., Mel'nik V.V., Kharisova O.D., Zamyatin A.L., 2020. Geofizicheskie issledovaniya massiva gornykh porod v usloviyakh podzemnogo rudnika [Geophysical studies of rock mass in the conditions of an underground mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 255 – 263. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-255-263.
10. Glikman A.G., 2002. Fizika i praktika spektral'noi seismorazvedki [Physics and practice of spectral seismic exploration]. NTF "Geofizprognoz". URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (data obrashcheniya: 03.12.2023)
11. Fedorov M.P., 2022. Metodika georadiolokatsionnykh issledovaniĭ ledyanogo pokrova (na primere r. Lena na uchastke Tabaginskii mys - Kangelasskii mys) [Technique of geo-radar studies of the ice cover (using the example of the Lena River in the Tabaginsky Cape - Kangelassky Cape section)]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, № 5, P. 18 – 32. DOI 10.355 67/19994508\_2022\_5\_2.