

УДК 622.83:550.34.06

**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: [sevcenkomaksim625@gmail.com](mailto:sevcenkomaksim625@gmail.com)

### **ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОБЛАСТИ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК\***

*Аннотация:*

*Приведен пример изучения трансформации вмещающих горных пород и земной поверхности в области влияния подземных горных выработок с помощью инженерно-геофизического метода. Объект исследований расположен в Республике Казахстан, Актюбинская область, г. Хромтау, где ведется добыча хромовых руд подземным способом. Над подземными горными выработками происходит сдвижение массива горных пород и земной поверхности, в результате чего здания и сооружения, находящиеся в зоне влияния выработок, подверглись деформации и частичному разрушению, что и вызвало необходимость в проведении исследований.*

*Цель исследований заключается в изучении изменений массива горных пород в области влияния подземных горных выработок и определении их площади развития.*

*Основным методом исследования является метод спектрального сейсмопрофилирования, позволяющий выявить пустоты в массиве горных пород, образующиеся в результате выемки полезных ископаемых. На участке было проведено исследование по профильным линиям, образующим сетку, что позволило подробно изучить подработанную территорию для получения достаточно точных результатов: карты выделенных неоднородностей, представленной в статье, построенной по результатам интерпретации спектральных сейсморезов, один из примеров которых также приведен в настоящей работе.*

*Ключевые слова: подработанные территории, горные выработки, прогноз, сдвижение, инженерно-геофизические исследования, процесс, спектральное сейсмопрофилирование, массив горных пород.*

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.055

**Shevchenko Maxim D.**  
Junior Researcher,  
Laboratory of Technologies of Decrease in Risk  
of Accidents at Mineral Development,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [sevcenkomaksim625@gmail.com](mailto:sevcenkomaksim625@gmail.com)

### **STUDY OF CHANGES OF THE ROCK MASS IN THE AREA OF INFLUENCE OF UNDERGROUND MINING OPERATIONS**

*Abstract:*

*The article presents an example of studying the transformation of host rocks and the earth's surface in the area of influence of underground mining operations using the engineering and geophysical method. The object of research is located in the Republic of Kazakhstan, Aktobe region, Khromtau, where the extraction of chrome ores is carried out by underground mining. At the underground mine workings, the mass of rocks and the earth's surface are being shifted, as a result of which buildings and structures located in the zone of influence of the workings are being deformed and partially destroyed, which causes the need for this research.*

*The purpose of the research is to study the changes in the rock mass in the area of influence of underground mine workings and to determine its development area.*

*The main method of research is the method of spectral seismic profiling (SSP), which allows to identify voids in the rock mass formed as a result of mineral extraction. At the studied site, research was conducted on the profile lines forming the grid, which made it possible to study the partially worked territory in detail to obtain sufficiently accurate research results. The result of the research is a map of the selected inhomogeneities presented in the article, which was elaborated basing on the results of the interpretation of spectral seismic sections, one of the examples of which is also shown in this paper.*

*Key words: partially worked territories, mine workings, forecast, displacement, engineering and geophysical research, process, spectral seismic profiling, rock mass.*

### *Введение*

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом главной проблемой становится развитие процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. Особенно остро встает вопрос, когда речь идет о строительстве на подра-

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-00293-18-00, тема № 0405-2019-0007.

ботанных территориях. К ним относятся территории, на которых производилось подземное строительство камер, тоннелей, шахт при добыче полезных ископаемых, из-за чего в земной коре возникают пустоты, которые и способствуют возникновению процесса сдвижения, представляющего собой перемещение и деформирование горной породы в результате нарушения равновесия под влиянием горных работ [1]. Подработка зданий приводит к появлению трещин в стенках и фундаментах. Подработка железнодорожных путей или автодорожных покрытий приводит к их деформации, а в некоторых случаях – к разрыву. Также подработка пагубно сказывается и на разных видах подземного трубопровода, нарушая его нормальную эксплуатацию. Прогрессирующее развитие сдвигового процесса земной поверхности может привести к катастрофическим последствиям, пагубным для человека, – образованию провалов и воронок на земной поверхности. Поэтому, исходя из вышеизложенного, следует, что данный вопрос требует особого внимания, поскольку все больше возникает потребность в строительстве на подработанных площадках, особенно в черте городов [2 – 5]. Безопасность застройки и последующей эксплуатации зданий и сооружений обеспечивается в результате проведения специальных исследований, направленных на изучение процесса сдвижения массива горных пород и земной поверхности, чему и посвящена данная статья.

Изучение трансформации массива горных пород и земной поверхности на подработанных территориях является актуальной задачей, особенно в наше время, поскольку с ростом добычи полезных ископаемых подземным способом возникают деформационные процессы с увеличением площадей подработанных территорий, на которых все чаще находятся здания и сооружения, используемые для обеспечения работы самих рудников.

Рассматриваемый участок работ расположен в Республике Казахстан Актюбинской области, вблизи города Хромтау. На данном участке находятся производственные здания, построенные на подработанной территории. В ходе развития сдвиговых процессов здания подверглись деформации, которая проявляется в виде конструктивных трещин в стенках этих зданий. В результате рекогносцировочного обследования объекта была установлена необходимость в проведении инженерно-геофизических исследований, основная цель которых заключалась в изучении изменений массива горных пород в области сдвижения от подземных горных выработок и определение площади его развития.

#### *Методика исследований*

При изучении процесса сдвижения в области влияния старых подземных горных работ были проанализированы документальные материалы, проводилось рекогносцировочное обследование территории, а затем инженерно-геофизические исследования методом спектрального сейсмопрофилирования (ССП).

Изучение и анализ документальных материалов являются общенаучным методом и применяются с целью получения необходимой информации для выбора наиболее результативного метода исследований.

Из-за особенности объекта было принято решение применить инженерно-геофизические исследования, которые позволят сделать выводы о состоянии подземных горных выработок и определить стадии развития процесса сдвижения. Исследования выполнялись для определения и выделения участков возможных пустот и областей нарушенности подработанных горных пород. Как правило, в подработанном горном массиве пустоты больших размеров – довольно редкое явление. Чаще всего полости от старых шахт находятся в состоянии полного или частичного заполнения и отличаются степенью заполнения и плотностью заполнителя. Наполнение пустот горной массой может изменяться в достаточно широком диапазоне как по плотности заполнения, так и по геометрическим параметрам.

Процесс сдвижения от подземных горных работ всегда направлен к поверхности, и по мере его развития область дезинтеграции горных пород за счет обрушения и перепуска в незаполненные пустоты «всплывает» к поверхности. Определить геометрические параметры зоны дезинтеграции горных пород в массиве, сделать выводы о возможном развитии процесса сдвижения можно при помощи геофизических методов. В качестве основного метода был использован метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП), позволяющий оценить состояние массива горных пород и выявить наличие пустот на глубину до 150 м. Данный метод хорошо себя зарекомендовал в ходе изучения структурного строения массива горных пород и его геомеханического состояния. Спектральное сейсмопрофилирование является универсальным методом, что позволяет его использовать не только в обнаружении пустот техногенного характера, но и в определении карстовых пустот [6], в выявлении зон трещиноватости массива горных пород [7] и оценке его геомеханического состояния [8]. Помимо этих особенностей, также метод СПП является мобильным, что позволяет его использовать не только на земной поверхности, но и в шахтах.

Метод спектрального сейсмопрофилирования основан на использовании зависимости между спектральным составом собственного колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива [9]. Для проведения замеров используется мелкосерийная аппаратура НТФ «Геофизпрогноз» [10]. Упругие колебания массива горных пород возбуждаются вручную, путем нанесения короткого удара по земной поверхности в непосредственной близости от сейсмоприемника.

#### *Результаты исследований*

На исследуемой территории методом спектрального сейсмопрофилирования глубина зондирования составила 150 м для определения состояния глубоких слоев горного массива на всю возможную глубину подработки. Выбранная частота и глубина зондирования обеспечили поиск и оконтуривание крупных горных выработок и поверхностей скольжения от сдвижения горных пород. Схема расположения профилей приведена на рис.1. Там же приведены выявленные структурные неоднородности горного массива.

В результате проведения спектрального сейсмопрофилирования структурные неоднородности выделены двумя цветами. Красный цвет свидетельствует о наличии пустот на подработанной территории, желтый цвет – о наличии пустот, расположенных непосредственно за пределами подработанной территории. Основная часть пустот расположена непосредственно вблизи зданий и под ними.

На рис. 2 приведен спектральный сейсморазрез с выделенными аномалиями структурного строения.

По профилю № 7 до глубины 30 – 40 м никаких признаков процессов сдвижения не было обнаружено. На глубине 20 – 30 м четко прослеживается граница глинистых отложений со скальными горными породами. Начиная с глубины 30 м и вплоть до 120 м, в интервале 120 – 200 м по профилю прослеживаются аномалии, выделенные красными линиями, выражающиеся в виде воронкообразных объектов, свидетельствующие о наличии пустот. В интервале 280 – 340 м по профилю – такая же аномалия, но в интервале глубин 30 – 100 м.

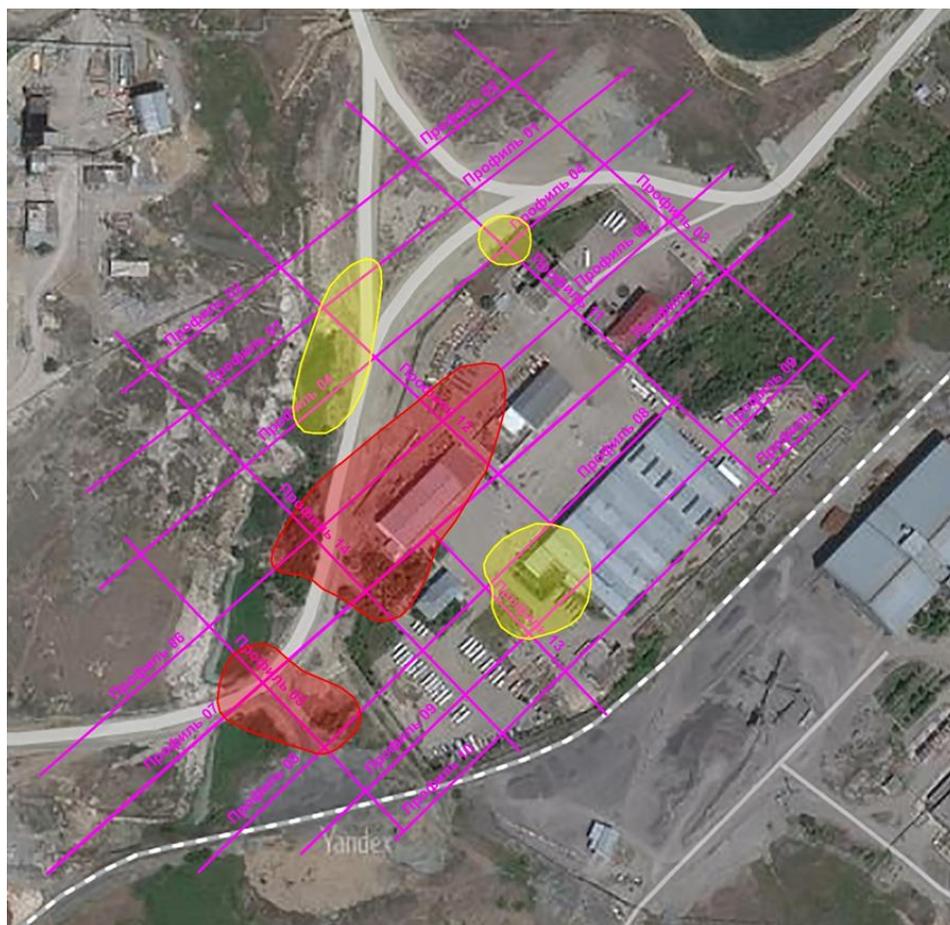


Рис. 1. Схема расположения профилей и структурных нарушений, выявленных на участке исследований

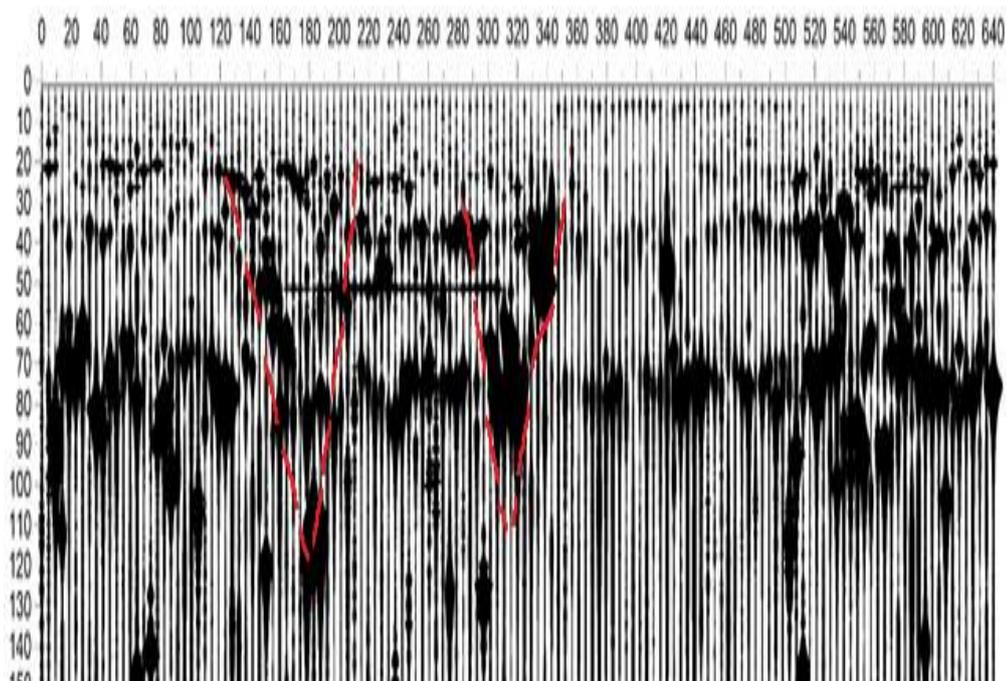


Рис. 2. Спектральный сейсморазрез по профилю №7

Исходя из информации, полученной методом спектрального сейсмопрофилирования и рекогносцировочного обследования участка работ, можно сделать вывод о развитии процесса сдвижения земной поверхности и массива горных пород, что и привело к деформации зданий и сооружений, находящихся на территории площадки исследований.

#### Заключение

В ходе изучения изменений земной поверхности и массива горных пород было установлено, что на участке работ активно развиваются сдвиговые процессы, о чем свидетельствует наличие V-образных структур на профилях ССП (см. рис. 2). Наибольшее развитие по площади наблюдается в центральной части, и также присутствуют небольшие участки с развивающимися процессами сдвижения (см. рис. 1).

Выбранный метод исследований позволил определить не только наличие сдвиговых процессов, но их границы. Исследования показали, что применение метода спектрального сейсмопрофилирования в решении данной задачи является рациональным, поскольку метод целиком и полностью удовлетворяет целям исследований. К тому же данный метод, как упоминалось выше, имеет распространенное применение в решении многих других инженерно-геологических задач, что делает его универсальным и удобным в использовании как на земной поверхности, так и в подземных условиях.

#### Список литературы

1. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А., 2005. *Сдвигение и разрушение горных пород*. Отв. ред. К.Н. Трубецкой. Москва: Наука, 277 с.
2. Усанов С.В., 2010. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 349 - 352.
3. Усанов С.В., 2011. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S11, С. 260 - 266.
4. Сарычев В.И., Сафронов В.П., Зайцев Ю.В., Романюк А.В., 2020. Метод оценки вертикальных сдвижений земной поверхности на подработанных территориях. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 250 - 262.
5. Проколова М.В., Лукьянова Г.В., 2010. Снижение влияния последствий ликвидности шахт на деформации зданий и сооружений. *Строительство - 2010: К 65-летию победы в Великой Отечественной войне посвящается: материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26 января 2010 года*. Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет, С. 142 - 143.
6. Мельник В.В., Замятин А.Л., 2018. Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи. *Проблемы недропользования*, №1 (16), С. 105 – 111. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105.
7. 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.
8. Зуев П.И., Ведерников А.С., Григорьев Д.В., 2011. Геофизическая диагностика состояния массива горных пород зоны комбинированной разработки Гороблагодатского железорудного месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S11, С. 114 - 121.
9. Мельник В.В., 2005. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 69 - 74.

10. Гликман А.Г. *Физика и практика спектральной сейсморазведки*. НТФ "Геофизпрогноз" URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (дата обращения: 25.11.2021).

### References

1. Viktorov S.D., Iofis M.A., Goncharov S.A., 2005. *Sdvizhenie i razrushenie gornykh porod* [Displacement and destruction of rocks]. Otv. red. K.N. Trubetskoi. Moscow: Nauka, 277 p.
2. Usanov S.V., 2010. *Podrabortannye podzemnymi rabotami territorii v g. Berezovskii i otsenka vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya* [Territories partially worked by underground mining in Berezovsky and the assessment of their possible use]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 10, P. 349 - 352.
3. Usanov S.V., 2011. *Metodika otsenki bezopasnosti zastroiki territorii nad starymi gornymi vyrabotkami* [Methodology for assessing the safety of housing development of territories over old mining workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S11, P. 260 - 266.
4. Sarychev V.I., Safronov V.P., Zaitsev Yu.V., Romanyuk A.V., 2020. *Metod otsenki vertikal'nykh sdvizhenii zemnoi poverkhnosti na podrabortannykh territoriyakh* [Method of estimation of vertical movements of the earth's surface in partially worked out territories]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta . Nauki o Zemle*, № 4, P. 250 - 262.
5. Prokopova M.V., Luk'yanova G.V., 2010. *Snizhenie vliyaniya posledstviy likvidnosti shakht na deformatsii zdaniy i sooruzhenii* [Reducing the impact of the consequences of mines liquidity on the deformation of buildings and structures]. *Stroitel'stvo - 2010: K 65-letiyu pobedy v Velikoi Otechestvennoi voine posvyashchaetsya: materyaly mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Rostov-na-Donu, 26 yanvarya 2010 goda*. Rostov-na-Donu: FGBOU VPO Rostovskii gosudarstvennyi stroitel'nyi universitet, P. 142 - 143.
6. Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2018. *Osushenie rudnykh tel v usloviyakh povyshennoi obvodnennosti i zakarstovannosti nalegayushchei tolshchi* [Drainage of ore bodies in conditions of increased waterlogging and cavernous porosity of the overlying strata]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №1 (16), P. 105 – 111. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105.
7. 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.
8. Zuev P.I., Vedernikov A.S., Grigor'ev D.V., 2011. *Geofizicheskaya diagnostika sostoyaniya massiva gornykh porod zony kombinirovannoi razrabotki Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya* [Geophysical diagnostics of state of the rock massif at the combined mining zone of the Goroblagodatsky iron ore deposit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S11, P. 114 - 121.
9. Mel'nik V.V., 2005. *Primenenie metoda spektral'nogo seismoprofilirovaniya dlya otsenki geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornykh porod vokrug shakhtnykh vyrabotok* [Application of the spectral seismic profiling method to assess the geomechanical state of the rock mass around mine workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 10, P. 69 - 74.
10. Glikman A.G. *Fizika i praktika spektral'noi seismorazvedki* [Physics and practice of spectral seismic exploration]. NTF "Геофизпрогноз" URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (data obrashcheniya: 25.11.2021).