

**В.В. Романов, А.И. Посеренин, А.Н. Дронов,  
К.С. Мальский**

## **ОБЗОР ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОИСКЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ВБЛИЗИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Важность обеспечения безопасности горных работ и надлежащей ликвидации заброшенных выработок доказывается на примере Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, затопленные рудники которого стали причиной катастрофических провалов поверхности в населенной местности. Своевременный мониторинг геофизических свойств сооружений рудников помог бы избежать столь разрушительных последствий и своевременно принять меры инженерной защиты. Рассмотрены возможности геофизических методов, эффективных при поиске и локализации скрытых подземных полостей, несущих потенциальную опасность для открытых и подземных горных выработок. К таким методам относятся: сейсморазведка, сейсмоакустика, микросейсмическое зондирование, электротомография и сейсмотомография, гравиразведка и георадиолокация. Перечислены основные признаки скрытых полостей в полях разной природы, в основном электрического и сейсмического.

Ключевые слова: горные выработки, геофизические методы, опасные геологические явления, сейсморазведка, электроразведка, комплексирование геофизических методов.

**П**ри ведении горных работ актуальной задачей является изучение опасных геологических явлений, которые возникают под влиянием различных природных, геологических и техногенных факторов. Опасные явления, такие как землетрясения, карст, суффозия, оползни, просадка, подтопление, оказывают значительное поражающее влияние на открытые и подземные горные выработки [2]. Под действием опасных явлений уменьшается прочность подземных тоннелей [1], деформируются и подтапливаются склоны карьеров. С другой стороны, сами выработки уменьшают прочность массива горных пород

и могут спровоцировать опасные геологические явления. Даже спустя годы после окончания разработки месторождения, заброшенные горные выработки способны активно влиять на элементы инфраструктуры на поверхности и вызывать химическое загрязнение геологической среды [3]. Основные минералы месторождения, сильвин и карналлит, легко растворяются подземными водами, а в подрабатываемом массиве содержится водоносный горизонт. После ряда аварий часть рудников были затоплены, что привело к образованию крупных провалов на поверхности (рис. 1).

Таким образом, поиск скрытых подземных полостей и зон пониженных значений физико-механических свойств горных пород имеет большое значение для прогноза развития опасных геологических явлений на подрабатываемых территориях [5, 6].

При помощи геофизических методов достаточно быстро оценивается потенциальная опасность геологической среды для горных выработок, что позволяет выбирать более безопасные участки и методы для разработки, а также принимать необходимые меры инженерной защиты. Среди геофизических методов, применяемых для исследования проявлений опасных геологических процессов, выделяются:

- сейсмоакустические исследования;
- сейсморазведка на поверхностных волнах Рэлея;
- скважинная, межскважинная и наземная сейсмотомография;
- регистрация микросейсмических колебаний;
- микрогравиметрия;
- скважинная, межскважинная и наземная электротомография;
- вертикальное электрическое зондирование и электропрофилирование;



*Рис. 1. Провал в Соликамске*

- частотное зондирование и методы становления электромагнитных полей

Признаками, благодаря которым можно определить наличие в толще горных пород, скрытую полость являются:

- понижение скорости продольных, поперечных и поверхностных волн;
- резкое увеличение или падение удельного сопротивления;
- изгибание осей синфазности, уменьшение частоты и амплитуды отраженных волн;
- возрастание уровня микросейсмических колебаний.

Использование геофизических методов имеет ряд ограничений, которые связаны с неопределенностью результатов и разрешающей способностью. Один и тот же геологический объект по-разному проявляет себя в различных физических полях. Например, плотный известняк свободно пропускает упругие волны и практически экранирует постоянный электрический ток. Многогранность физических свойств геологических и техногенных объектов позволяют путем комплексирования резко снизить степень неопределенность решения и получить принципиально новую информацию, недоступную для каждого отдельного метода.

Геофизические методы давно применяются в экологии и инженерной защите горных работ, однако наряду с традиционными сейсморазведкой на преломленных волнах и методами сопротивлений, все чаще употребляются новые технологии и

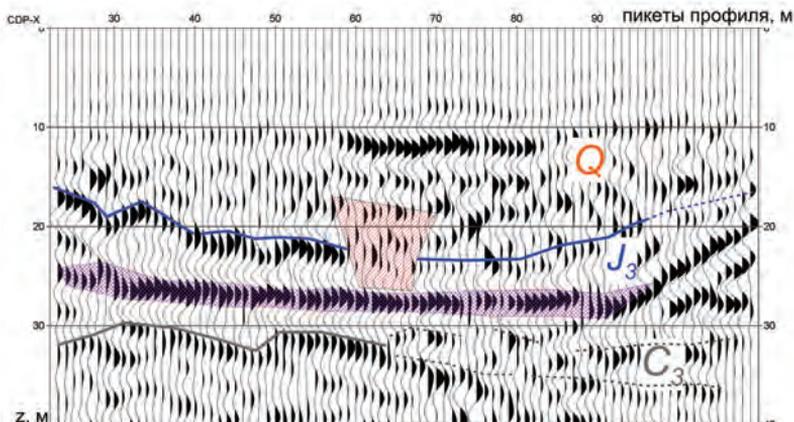


Рис. 2. Выделение подземного туннеля (диагональная штриховка) и карстовой полости (косая штриховка) на территории заброшенного рудника

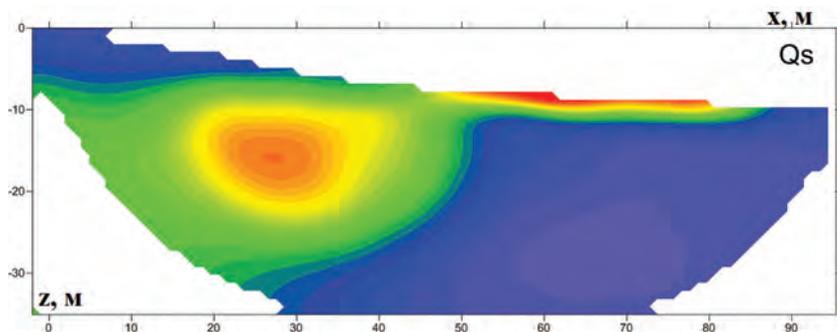


Рис. 3. Сейсмотомографический разрез декремента затухания поперечных волн. В левом углу выделяется ослабленная зона круглого сечения

физические явления. На рис. 2 показ разрез отраженных волн, где на глубине 25 м уверенно выделяется верхняя кромка подземного туннеля.

Применение поверхностных сейсмических волн и георадиолокации позволило вести исследования геофизическими методами на малых глубинах и с высоким разрешением. Особенно высокие показатели разрешающей способности у георадиолокации, которая использует излучение и регистрацию высокочастотных электромагнитных волн. Основной недостаток георадиолокации — малая глубинность, которая во влажных глинах может снижаться до (0,5–1,0) м.

При локализации небольших изометричных полостей или ослабленных зон наибольшую разрешающую способность имеют томографические методы. Томографический подход базируется на восстановлении внутренней упругой или геоэлектрической структуры массива по результатам частых и избыточных измерений на его поверхности. Лучи сейсмических волн или силовые линии постоянного тока пересекают локализуемый объект по множеству траекторий, что позволяет достаточно точно восстановить его координаты и геометрические параметры. Помимо распределения скорости и удельного электрического сопротивления, томография применяется для нахождения декремента затухания (рис. 3) [4] и анизотропии.

Самая большая точность томографии может быть получена в случае, если на территории месторождения пробурено большое количество разведочных или добывающих скважин на близком расстоянии друг от друга. Для поиска скрытых полостей применяется технология, когда сигнал от неподвижного источника

принимается группой датчиков, после чего источник перемещается дальше по стволу скважины. Межскважинная томография стала основным методом определения контуров карстовых полостей и уточнения строения рудных залежей.

Высокочастотная сейсмоакустика применяется для поиска небольших дефектов в сваях и фундаментах, так как поверхности таких дефектов отражают сейсмоакустические волны.

В целом геофизика с каждым годом все активно применяются в горном деле, появляются новые направления и технологии, образуют эффективные комплексы методов. Приведенный обзор дает понять, что непрерывный мониторинг физических свойств пород, которых располагаются выработки, существенно увеличивает безопасность горных работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувалдин А.В., Романов В.В., Рахматуллин И.И. Сейсморазведочные исследования при строительстве // Профессиональное образование и общество. – 2014. – № 2 (10). – С. 56–58.

2. Романов В.В., Мальский К.С., Боровой Е.А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 77–81.

3. Романов В.В., Мальский К.С. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 74–79.

4. Романов В.В. Применение амплитудных графиков при обработке и интерпретации данных метода преломленных волн для решения задач инженерной геологии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 4. – С. 56–60.

5. Санфиоров И.А., Бабкин А.И. Методические особенности шахтных сейсмоакустических исследований на Верхнекамском месторождении калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 11. – С. 145–154.

6. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Чугаев А.В., Ладейщиков С.В. Новые методические решения малоуглубинной сейсморазведки на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 17–22. **ГИАБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Романов Виктор Валерьевич*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, e-mail: roman\_off@mail.ru,

*Посеренин Алексей Игоревич*<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: poserenin83@gmail.com,

*Дронов Андрей Николаевич* – старший преподаватель, e-mail: veutel@mail.ru, Российский университет дружбы народов,

Мальский Кирилл Сергеевич<sup>1</sup> — доцент, e-mail: sabbat@mail.ru,  
<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе.

UDC 550.83

**V.V. Romanov, A.I. Poserenin, A.N. Dronov, K.S. Mal'skiy**  
**REVIEW OF GEOPHYSICAL METHODS**  
**TO DETECT MECHANICAL DAMAGES**  
**IN ROCK MASS AROUND EXCAVATIONS**

The importance of mine safety and the proper disposal of abandoned mines is proved by the example of the infamous Verkhnekamsk potassium and magnesium salts, mine flooding which caused the catastrophic failure surface in populated areas. Timely monitoring of geophysical properties of the mine facilities would help to avoid such devastating consequences, and take timely measures to protect engineering. The article tells about the possibilities of geophysical methods that are effective in finding and locating hidden underground cavities, carrying the potential danger for surface and underground mining.

Browse Groups geophysical methods are actively applied in the study of undermined area, based on consideration of their strengths and weaknesses in relation to the task. Among mentioned in Article geophysical methods – seismic, seismic acoustics, microseismic sensing, electrical resistivity tomography and Seismotomography, gravimetric and georadar. Are the main signs of cavities in the fields of different nature, mainly electrical and seismic. The article is accompanied by a number of illustrations with examples geophysical sections.

Key words: mine workings, geophysical methods, geological hazards, seismic, electromagnetics, integration of geophysical methods.

#### AUTHORS

*Romanov V.V.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: roman\_off@mail.ru,

*Poserenin A.I.*<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: poserenin83@gmail.com,

*Dronov A.N.*, Senior Lecturer, e-mail: veutel@mail.ru,

Peoples' Friendship University of Russia, 113093, Moscow, Russia,

*Mal'skiy K.S.*<sup>1</sup>, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru,

<sup>1</sup> Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia.

#### REFERENCES

1. Kuvaldin A.V., Romanov V.V., Rakhmatullin I.I. *Professional'noe obrazovanie i obshchestvo*. 2014, no 2 (10), pp. 56–58.

2. Romanov V.V., Mal'skiy K.S., Borovoy E.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7, pp. 77–81.

3. Romanov V.V., Mal'skiy K.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 74–79.

4. Romanov V.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2012, no 4, pp. 56–60.

5. Sanfirov I.A., Babkin A.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 11, pp. 145–154.

6. Sanfirov I.A., Babkin A.I., Chugaev A.V., Ladeyshchikov S.V. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 6, pp. 17–22.