

В.В. Романов, К.С. Мальский**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗУЧЕНИЯ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАРЬЕРОВ
И ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКОЙ**

Рассмотрена проблема, связанная с влиянием подземных вод на наземные и подземные горные выработки во время эксплуатации и после ликвидации месторождений. Учитывая то существенное влияние, которое грунтовые воды и воды более глубоких водоносных горизонтов оказывают на развитие оползней и просадочных явлений в горных выработках, поставленная задача изучения гидрогеологического режима имеет важное научное и практическое значение. Применение инженерной геофизики для мониторинга состояния разрабатываемых и закрытых месторождений пока ограничено, однако возможности сейсмических методов при изучении горных выработок достаточно широки, в первую очередь из-за способности определения физико-механических свойств горных пород в естественном залегании и выработках. Проанализированы теоретические и практические аспекты использования методов инженерной сейсморазведки в целях изучения гидрогеологического режима горных выработок. Приведены предпосылки, обуславливающие влияние гидрогеологических условий на прочностные свойства бортов карьера, рассматриваются физико-геологические модели и полевые материалы инженерной сейсморазведки. Приведены описания общих подходов к выделению обособленных элементов слоистых и градиентных сред на основе интерпретации годографов первых вступлений; оценивается влияние деформаций, возникающих в горных породах на скорости упругих волн.

Ключевые слова: инженерная сейсморазведка, гидрогеологический режим, уровень грунтовых вод, подтопление, карьеры, оползневые явления, сейсмотомография.

Выполнение горных работ сопровождается изменением гидрогеологического режима в массиве разрабатываемых пород. Снижение напоров подземных вод при дренировании вызывает депрессионное сжатие проницаемых и водоупорных пород, а восстановление гидродинамического режима после ликвидации карьеров и шахт часто приводит к разуплотнению горных пород. Деформации пород опасны для подземных горных выработок, так как могут приводить к разрушению крепи шахтных стволов. В поверхностных горных выработках активно развиваются процессы подтопления, оползания, просадочные явления, оказывающие отрицательное

влияние на сохранность наземных сооружений [1] (рис. 1).

В последнее время, к сожалению, закрывается значительное количество горных предприятий, которые в течение многих лет выполняли разработку месторождений с применением осушительных мероприятий [1]. После прекращения забора подземных вод их уровень возвращается к равновесным показателям, что вызывает снижение прочности тех пород, которые ранее находились в сжатом состоянии. Переувлажнение пластичных пород, таких как суглинки и глины, провоцирует образование оползней, особенно активных в карьерах с большими углами откоса бортов.

Для своевременного предотвращения опасных геодинамических процессов, возникающих в горных выработках как во время их эксплуатации, так и после прекращения добычи, особенно эффективным представляется выполнение геофизических исследований [6]. Среди методов инженерной геофизики наибольшую информативность имеют электроразведка на постоянном и переменном токе, сейсморазведка и георадиолокация [5]. Особенно ценным представляется использование сейсморазведки, так как с ее помощью оцениваются гидро-геологические свойства (например, влажность и водонасыщенность и физико-механические – сцепление, угол внутреннего трения и другие. Также данные сейсморазведки позволяют определить распределение напряжений в массиве горных пород.

Проще всего сейсморазведка решает задачу прослеживания уровня грунтовых вод из-за небольшой глубины залегания. Скорость продольных сейсмических волн резко возрастает в породах с полной водонасыщенностью, что объясняет наличие пре-

ломляющей границы, совпадающей с УГВ. В глинистых породах модель наземной выработки обычно трехслойная – не полностью водонасыщенные глины и суглинки, капиллярная кайма и полностью водонасыщенные грунты. Величина V_p в первом слое обычно составляет (300–500) м/с, во втором (700–1300) м/с, в третьем (1600–2100) м/с. Для песчаных пород капиллярная кайма практически отсутствует, поэтому второй слой модели не наблюдается, а скорость продольных волн на УГВ резко увеличивается до уровня (1600–2100) м/с [3]. Грунты с неполным водонасыщением значительно уплотняются под действием литостатического давления, поэтому скорость продольных и поперечных волн с глубиной быстро возрастают независимо от типа грунта [2].

Годографы первых вступлений прямых и преломленных волн имеют форму выпуклой кривой линии с одной-двумя характерными точками излома, связанными с резким увеличением скорости на границах слоев. Наибольшая кривизна годографа наблюдается на удалениях до 10–15 м,



Рис. 1. Проявления процессов подтапливания и оползания в известняковом карьере

где в первые вступления выходят волны, сформированные в зоне аэрации и капиллярной каймы (рис. 2). Возрастание скорости с глубиной в зоне аэрации можно описать линейной зависимостью вида $V(z) = V_0(1 + \beta z)$, где величина относительного градиента β уменьшается вниз по разрезу от значений (200–300) 1/м до (20–50) 1/м в основании зоны.

Сейсморазведка проводится путем накопления записей волн, первоначально сформированных ударом кувалды по металлической подложке, а затем преломившихся или отразившихся от геолого-геофизических границ. В зависимости от направления удара формируются продольные или поперечные волны [8]. Для приема и регистрации волн на поверхности земли или в стволе скважины формируется расстановка из нескольких десятков сейсмических приемников. Каждый сейсмический приемник записывает колебательные движения частиц среды, что в совокупности образует сейсмограммы. Прослеживание некоторой фазы колебаний волны вдоль расстановки дает годограф волны [4].

Обработка данных сейсморазведки реализуется преобразованием годографов в глубинные разрезы. В процессе обработки находятся скорости волн как в водонасыщенных породах, так и в промежуточных слоях зоны аэрации. Данные о скоростях в совокупности с плотностью грунтов применяются для расчета физико-механических свойств горных пород, например, модуля полной деформации. Чаще всего результаты обработки представляются в виде слоистого разреза с нанесенными литолого-стратиграфическими свойствами и скоростями упругих волн. Иногда для интерпретации выделенных границ применяются амплитуды выделенных волн, что полезно, например, при необходимости различения верховодки и грунтовых вод. В достаточно тонких линзах верховодки преломленные волны испытывают большее затухание, чем в выдержанных горизонтах подземных вод [7].

Сейсморазведка, выполненная по избыточно плотной для простых структурных построений сети наблюдений, обрабатывается по томографической технологии, когда модели строятся

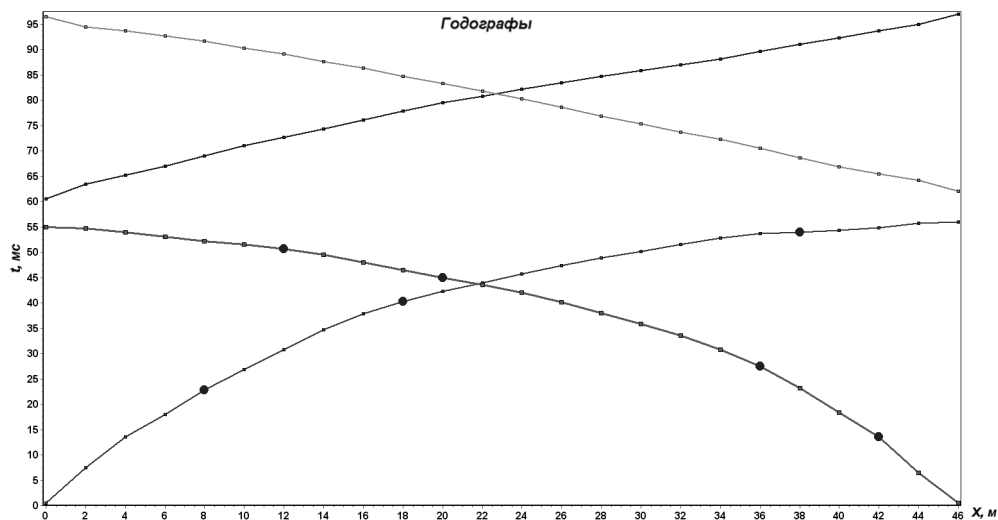


Рис. 2. Встречные и нагоняющие годографы первых вступлений продольных волн с выделенными точками излома

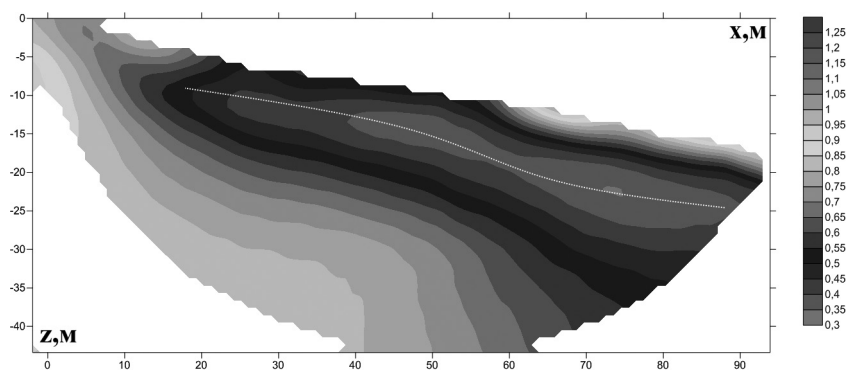


Рис. 3. Сейсмотомографическое изображение с выделенным по повышенному поглощению зеркалом скольжения оползневого процесса

не из отдельных однородных блоков, а непрерывного распределения упругих свойств геологического пространства. Томографические изображения формируются как по значениям времени, так и по амплитудам. В современных программных комплексах обработки сейсмотомографии анализируются распределения скоростей волн, анизотропии, физико-механических и поглощающих свойств пород (рис. 3).

Инженерная сейсморазведка может выполняться на одном участке земной поверхности многократно, что позволяет производить мониторинг геологических и гидрогеологических границ при осушительных мероприятиях или после ликвидации карьеров. Систематическое уменьшение или увеличение скоростей упругих волн во времени прямо указывает на изменение гидро-

геологического режима или развитие опасного геодинамического явления – оползня, обвала, карста или других процессов. Скорость упругих волн определяется теснотой связей между частицами, а они возрастают при переходе блока горных пород в напряженное состояние и резко снижаются при развитии трещиноватости и иных деформаций. Благодаря связи между состоянием горных пород и скорости упругих волн в его слоях имеется возможность выделения напряженных и разуплотненных зон [7].

Перечисленные обстоятельства еще раз убедительно доказывают, что сейсмические методы исследования весьма эффективны при изучении гидрогеологического режима горных выработок и связанных с ним оползневых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Подольский В.А. Прогноз гидрогеомеханических процессов в прибортовом массиве при затоплении карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 5. – С. 65–71.

2. Романов В.В., Гапонов Д.А. Применение инженерной сейсморазведки при изучении грунтовых вод в глинистых грунтах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2014. № 6 (184). – С. 52–59.

3. Романов В.В. Изучение толщи четвертичных отложений Подмосквы инженерной сейсморазведкой // Геофизика. – 2014. – № 3. – С. 41–48.

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

5. Туманов В.В., Юфа Я.М., Трифонов А.С., Архипенко А.И. Оптимальное решение задач техногенной безопасности

геофизическими методами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 6. – С. 75–78.

6. Федянин А.С. Обоснование рациональных параметров бортов глубокого карьера на основе геофизических методов исследований // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 130–137.

7. Яковлев А.В., Синицын В.А., Ермаков Н.И. Оценка зон трещиноватости в при-

бортовом массиве по комплексу геофизических и гидрогеологических параметров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 122–129.

8. Мальский К.С. Методические основы исследования геодинамических процессов на частях горного массива с применением виброизмерительной аппаратуры // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С. 256–259. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Романов Виктор Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: roman_off@mail.ru, Мальский Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: sabbat@mail.ru, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

UDC 550.834

ANALYSIS OF POSSIBILITIES TO STUDY THE HYDROGEOLOGICAL REGIME OF OPEN PITS AND UNDERGROUND MINING ENGINEERING SEISMIC

Romanov V.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: roman_off@mail.ru, Mal'skii K.S.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru, ¹ Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia.

The article is devoted to the actual problem related to the influence of groundwater on surface and underground mine workings during operation and after the elimination of deposits. Given the significant impact that the ground water and water deeper aquifers have on the development of landslides and subsidence phenomena in mines, the problem is of great scientific and practical importance. Application of geophysics developed for monitoring the state and private fields is still limited, but the possibility of seismic methods in the study of mining are wide enough, primarily because of the ability to determine the physical and mechanical properties of rocks in situ and workings.

The article analyzes the theoretical and practical aspects of near-surface seismic methods to study the hydrogeological regime pit. Provides background causing the influence of hydrogeological conditions on the mechanical properties of the pit walls are considered physical and geological models and field materials engineering survey. In this paper we consider a common approach to the dismemberment of layered and gradient media, interpretation locus of the first arrivals and assess the impact of deformation occurring in rocks at the speed of elastic waves.

Key words: near-surface seismic, hydrogeological regime, the groundwater level, flooding, careers, landslides, Seismotomography.

REFERENCES

1. Kutepov Yu.I., Kutepova N.A., Podol'skii V.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2004, no 5, pp. 65–71.
2. Romanov V.V., Gaponov D.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki*. 2014, no 6 (184), pp. 52–59.
3. Romanov V.V. *Geofizika*. 2014, no 3, pp. 41–48.
4. Kuvaldin A.V., Romanov V.V., Rakhmatullin I.I. *Professional'noe obrazovanie i obshchestvo*. 2014, no 2 (10), pp. 56–58.
5. Tumanov V.V., Yufa Ya.M., Trifonov A.S., Arkhipenko A.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2005, no 6, pp. 75–78.
6. Fedyanin A.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2005, no 7, pp. 130–137.
7. Yakovlev A.V., Sinitsyn V.A., Ermakov N.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2005, no 7, pp. 122–129.
8. Mal'skii K.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2012, no 10, pp. 256–259.