

**В.В. Романов, К.С. Мальский, Е.А. Боровой**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ**

Рассмотрены практические аспекты и теоретические вопросы использования инженерной сейсморазведки при изучении структуры, физическо-механических свойств и гидрогеологического режима вскрышных пород открытых горных выработок. Описаны решаемые сейсморазведкой инженерно-геологические задачи, обосновывается выбор сейсмического метода исследования, а также конкретных типов упругих волн и схем наблюдения. Указаны предпосылки использования методов преломленных и поверхностных волн при решении той или иной геологической задачи. Полученные данные позволили установить закон распределения скорости с глубиной, найти эффективный коэффициент крепости, уточнить геолого-геофизическое строение вскрыши. По увеличенным значениями скорости поперечных волн в вскрышных породах одного из карьеров было диагностировано напряженное состояние пород, указывающие на высокий риск оползания блоков грунтов. Проведенная работа подтвердила высокую эффективность инженерной сейсморазведки при решении многочисленных задач, возникающих в процессе эксплуатации месторождения открытым способом.

*Ключевые слова:* карьеры, вскрышные породы, инженерная сейсморазведка, метод преломленных волн, первые вступления, обработка годографов, скорости упругих волн, физико-механические свойства горных пород.

### **Введение**

**П**ри эксплуатации месторождений важно учитывать мощность, геометрию и физико-механические свойства вскрышных пород. Мониторинг вскрыши геофизическими методами обеспечивает оперативное получение информации о ее строении и состоянии. Инженерно-геофизические изыскания на бортах карьеров выполняются с целью [2, 3, 7]:

- изучения гидрогеологического режима для предотвращения подтапливания;
- нахождения физико-механических свойств вскрышных пород для расчета устойчивости бортов карьера;
- определения скорости поперечных волн в вскрыше при микросейсморайонировании;
- установление причин возникающих деформаций, в том числе оползневых.

При разработке месторождения применяется техника, работающая на электрическом токе большего напряжения. Поэтому методы электроразведки на действующих карьерах обычно не применяются [2]. Более надежные результаты обеспечивает инженерная сейсморазведка. Скорость и направление упругих волн меняются в зависимости от значений упругих модулей, связанных с геологическими свойствами. Сейсмограммы записанных волн применяются для выделения геологических границ и скоростей распространения волн.

На открытых горных выработках при помощи сейсморазведки выделяется подошва вскрышных пород, уровень грунтовых вод, зеркала скольжения оползней [6, 8]. При изучении гидрогеологического режима применяются продольные упругие волны, возбуждаемые вертикальным ударом.



**Рис. 1. Развитие техногенного оползня на бортах заброшенного карьера, вызванного смещением массы суглинков по переувлажненным глинам. Выделены стенки отрыва и оползневые цирки**

Продольные волны связаны с объемными деформациями, они распространяются во всех фазах горных пород, поэтому их скорость существенно зависит от водонасыщенности. Скорость продольных волн ( $V_P$ ) в сухих вскрышных породах равна 400–500 м/с, а на зеркале грунтовых вод она скачком увеличивается до 1600–1900 м/с [4].

Изучение оползневых процессов (рис. 1) и нахождение физико-механических свойств (ФМС) вскрышных пород в естественном залегании представляет более сложную задачу, поэтому для ее решения задействуются продольные и поперечные волны. Данные о скоростях входят для формулы расчета динамических упругих модулей (Юнга, сдвига, коэффициента Пуассона и т.д. Знание ФМС вскрыши карьера существенно сокращает расходы на разработку месторождения.

Скорость поперечных волн ( $V_S$ ) не зависит от количества воды в порах, потому как волны сдвиговых деформаций в жидкостях и газах не распространяются. Результаты проведения метода поперечных волн используются для решения задач микросейсмо-районирования (МСР).

Сложнопостроенные среды с непрерывным (градиентным) распределением упругих свойств изучаются так-

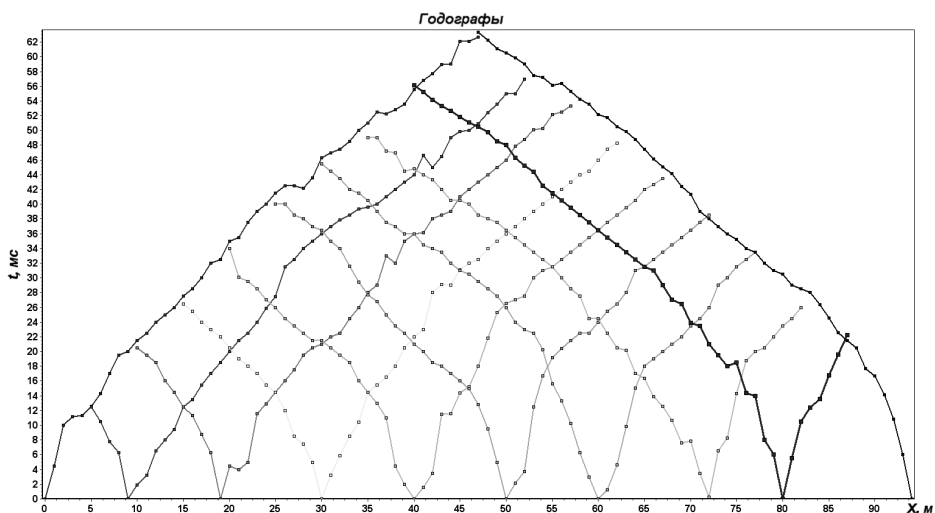
же с использованием записей поверхностных псевдорэлеевских волн  $R$ . В градиентных толщах поверхностные волны обладают дисперсией – зависимостью скорости ( $V_R$ ) от частоты колебаний. Обработка дисперсионных кривых дает распределение скорости поперечных волн в разрезе [2].

Предлагаемая работа посвящена обобщению результатов, полученных авторами статьи при проведении сейсморазведки на бортах карьеров Подмосковья. Исследования выполнялись с целью уточнения свойств глинистых вскрышных пород.

### **Методика эксперимента, полученные результаты**

Изыскания на вскрышных породах выполнялись расстановками сейсмических приемников длиной 46 м. Для регистрации применялись схемы  $Z-Z$  и  $Y-Y$ . На сейсмограммах коррелировались первые волны (рис. 2). В первых вступлениях наблюдались прямые, рефрагированные, преломленные и преломленно-рефрагированные волны.

Выбор способа обработки годографов зависел от общей структуры сейсмогеологической модели. Она удовлетворительно описывалась двумя–тремя слоями с приблизительно линейным законом увеличения скорости  $V(z)$  (1).



**Рис. 2. Система увязанных годографов первых вступлений. Точки излома на них визуально выделяются, но в целом годографы имеют форму выпуклой кривой, что говорит о непрерывном изменении скорости**

$$V(z) = V_0(1 + \beta z), \quad (1)$$

где  $z$  – глубина,  $V$  – скорость упругих волн,  $\beta$  – относительный градиент [4]. Для интерпретации использовались поперечные волны. В ряде случаев из-за низкого качества исходного материала, когда работы проводились под ЛЭП и вблизи автомобильных дорог, распределение  $V_S(z)$  находилось по записям поверхностных волн Рэлея (рис. 3).

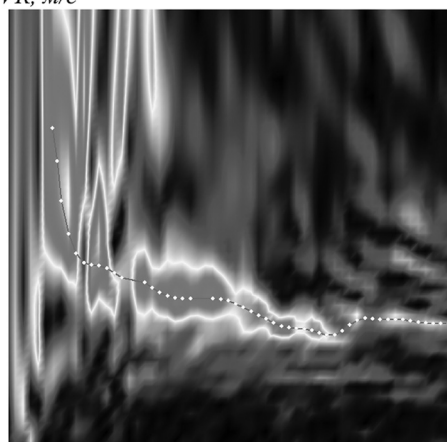
Годографы первых волн обрабатывались при помощи способа Чибисова [1] (рис. 4).

По значению характеру изменения скорости поперечных волн с глубиной изучаемый разрез был разделен на два слоя с разным постоянным градиентом скорости. Мощность первого слоя составила 3–4 м, в нем значение скорости изменяется от 100 м/с (рис. 4, голубые линии) до 220 м/с (оранжевые линии). Аномальное возрастание скорости было зафиксировано на одном из карьеров, где из-за слишком маленького угла откоса блоки грунтов имеют тенденцию к оползанию вниз по склону (рис. 1). Тенденция к раз-

витию оползневых процессов нашла отражение в возрастании скорости поперечных волн пород, находящихся в напряженном состоянии.

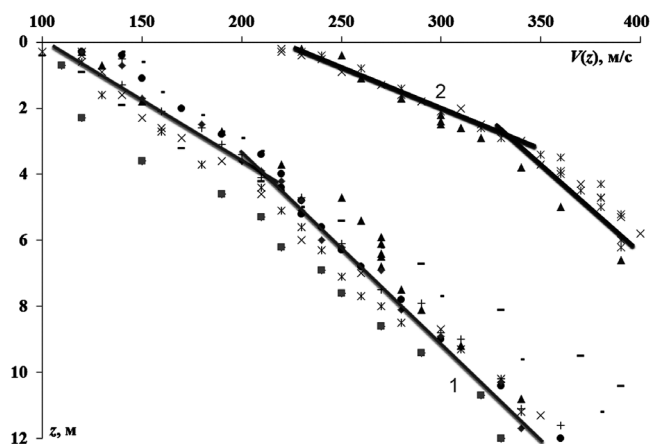
В первом случае (рис. 4, слева) относительный градиент скорости  $\beta$  составил 220–250 1/км вблизи поверхности, в подошве выделенного слоя градиент уменьшился до 100–120 1/км.

$V_R$ , м/с



$f$ , Гц

**Рис. 3. Дисперсионная кривая поверхностных волн Рэлея**



**Рис. 4. Распределение скорости с глубиной во вскрышных породах:** точками отмечены значения скорости, линиями – тренд зависимости; линии 1 – вскрыша карьера с устойчивыми стенками, линии 2 – масса грунта находится в напряженном состоянии

Для карьера с выявленными оползневыми процессами (рис. 4, справа) относительный градиент имел большее значение, как у поверхности (250–230 1/км), так и в подошве первого слоя изучаемой толщи (150–200 1/км). Во втором слое градиент скорости снизился как на оползневых, так и на устойчивых откосах и составил 20–50 1/км. В целом скорость поперечных волн во вскрышных породах относительно однородного состава в интервале 0–12 м увеличивается от 120 до 450 м/с [5]. Наличие корреляционной зависимости между параметром  $V_s$  и коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова  $f_{кр}$ , приведенной в (2) позволяет разделить вскрышные породы по трудоемкости разрушаемости.

$$f_{кр} = 10^{0,49V_s \left(\frac{км}{с}\right) - 0,46} \quad (2)$$

Согласно классификации Протодяконова изученные вскрышные породы разделяются по коэффициенту крепости интервал 0–3 м относится к X категории ( $f_{кр} = 0,3$  – пльвучие породы), а на глубинах более 3 м – к категории IX ( $f_{кр} = 0,4$  – сыпучие породы). Такое распределение крепости предусматривает выпуклый профиль откоса карьеров.

### Выводы

В результате выполненной инженерной сейсморазведки были получен ряд распределения скорости поперечных волн во вскрышных породах ряда открытых горных выработок. Анализ распределений скорости поперечных показал на неоднородность физико-механических свойств вскрыши даже при постоянстве литологического состава. Выявленные различия объясняются уплотнением минеральных частиц горных пород под действием покрывающей толщи, особенно велика изменчивость свойств в пределах первых 3–4 м. По увеличению абсолютному значению скорости в одном из карьеров было диагностировано напряженное состояние блоков вскрышных пород. В целом, инженерная сейсморазведка показала себя как эффективный инструмент детального изучения вскрыши карьеров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмин В.Ю. Обращение годографов сейсмических волн, распространяющихся в вертикально-неоднородных средах // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 3. – С. 5–16.  
2. Гусаков И.О., Козак С.З. Опыт применения сейсмических методов для решения гидрогеологических задач // Разведка и ох-

рана недр. – 2012. – № 11. – С. 49–52.  
3. Курленя М.В., Кортелев О.Б., Ческидов В.И. и др. Перспективы применения открытых горных работ при освоении Бакчарского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 4. – С. 9–13.

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

5. 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.

6. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого скло-

на // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 3. – С. 34–37.

7. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований. Госстрой России. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004. – 49 с.

8. Снитка Н.П., Халикулов Э.Х., Мальский К.С., Умаров Ф.Я. Определение параметров вибрации участка борта карьера при погрузке горной массы экскаватором // Горный вестник Узбекистана. – 2012. – № 3. – С. 35–37. **ГИАЗ**

## 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,  
Боровой Евгений Александрович – студент, e-mail: borovoyea@mail.ru,  
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

---

UDC 622.271:624.131.31

## DETERMINATION OF THE STABILITY OF PIT WALLS FOR ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Romanov V.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: roman\_off@mail.ru,  
Mal'skii K.S.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru,  
Borovoi E.A.<sup>1</sup>, Student, e-mail: borovoyea@mail.ru,

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

---

*The present article is devoted to the practical aspects of the theoretical and the use of seismic engineering in the study of the structure, physical and mechanical properties and hydrogeological regime of overburden-mine. In the introduction, this article describes Solved seismic geotechnical tasks, justified the choice of the seismic method of research, as well as specific types of elastic waves and surveillance schemes. Prerequisites are indicated using the methods and refraction of surface waves in the solution of a particular geological problem. The data allowed to set velocity distribution with depth, to find an effective rate of the fortress, to clarify geological and geophysical structure of the overburden. To increase the values of the velocity of transverse waves in the overburden of one of the quarries was diagnosed stress state of rocks, indicating a high risk of sliding blocks of soil. Existing work has confirmed the high efficiency of seismic engineering solutions with numerous problems arising in the course of the field open way.*

*Key words: career, overburden, near-surface seismic, the method of refracted waves, the first break, travel time curves processing, speed of elastic waves, physical and mechanical properties of rocks.*

## REFERENCES

1. Burmin V.Yu. *Tekhnologii seismorazvedki*. 2011, no 3, pp. 5–16.
2. Gusev I.O., Kozak S.Z. *Razvedka i okhrana neдр*. 2012, no 11, pp. 49–52.
3. Kurlenya M.V., Kortelev O.B., Cheskidov V.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2006, no 4, pp. 9–13.
4. Romanov V.V. *Geofizika*. 2014, no 3, pp. 41–48.
5. Romanov V.V., Gaponov D.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki*. 2014, no 6 (184), pp. 52–59.
6. Romanov V.V. *Razvedka i okhrana neдр*. 2015, no 3, pp. 34–37.
7. *Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Chast' VI. Pravila proizvodstva geofizicheskikh issledovaniy. SP 11-105-97* (Geological-engineering survey for the purposes of construction. Part IV: Geophysical survey rules SP 11-105-97), Moscow, PNIIS Gosstroya Rossii, 2004. 49 p.
8. Snitka N.P., Khalikulov E.Kh., Mal'skii K.S., Umarov F.Ya. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2012, no 3, pp. 35–37.