

# К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБНАЖЕНИЙ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

## ON THE PROBLEM OF DETERMINATION OF ROCK STRENGTH PARAMETERS TO ASSESS THE STABILITY OF OUTCROPS

**БАБЕЛЛО В.А.**

Профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Забайкальского государственного университета, д.т.н., г. Чита, chita-ssv@yandex.ru, babelloviktor@mail.ru

**СМОЛИЧ К.С.**

Консультант Министерства образования, науки и молодежной политики Забайкальского края, к.т.н., г. Чита, chita-ssv@yandex.ru

**BABELLO V.A.**

A professor of the hydrogeology and engineering geology department of the Zabaikalsky State University (Trans-Baikal State University), PhD (doctor of science in Technics), Chita, chita-ssv@yandex.ru, babelloviktor@mail.ru

**SMOLICH K.S.**

A consultant of the Ministry of Education, Science and Youth Policy of the Zabaikalye Territory (Trans-Baikal Krai), PhD (candidate of science in Technics), Chita, chita-ssv@yandex.ru

### Ключевые слова:

горные породы; скальные горные породы; массив; показатели прочности; трещиноватость; поверхность ослабления; образцы; лабораторные испытания; призма обрушения; метод обрушения призм.

### Key words:

rocks; solid rocks; massif; strength parameters; fracturing; loosening surface; samples; laboratory testing; wedge of failure; failure wedge method.

### Аннотация

**В статье обсуждаются вопросы оценки параметров прочности скальных пород в лабораторных и натуральных условиях. Показано, что большие трудности возникают при исследовании массивов с разнонаправленной трещиноватостью и поверхностями ослабления. Приведены и сопоставлены результаты опытов по определению характеристик прочности пород на образцах и методом обрушения призм.**

Вопросы оценки устойчивости обнажений скальных массивов при строительстве дорожных выемок, котлованов или бортов карьеров остаются на сегодняшний день достаточно актуальными, особенно если массив представлен горными породами, нарушенными большим количеством разнонаправленных трещин и поверхностями ослабления тектонического происхождения.

Примером может служить месторождение сурьмы Хара-Шибирь в Забайкальском крае на границе Могойтуйского и Шилкинского районов, находящееся на стадии разведочных работ. На рисунке 1 представлен западный борт действующего карьера этого месторождения.

В геологическом строении<sup>1</sup> территории месторождения принимают участие стратифицированные образования верхнего отдела триасовой системы. Непосредственно рудовмещающей толщей являются конгломераты и туфоконгломераты нижнекаменской подсвиты. На юге конгломераты имеют четко выраженный тектонический контакт с песчаниками и алевропесчаниками. Северный фланг сложен туфогенно-вулкано-

### Abstract

**This paper discusses problems of evaluation of rock strength parameters in laboratory and field conditions. It is shown that there are great difficulties in investigations of rock massives having multidirectional fracturing and loosening surfaces. The experimental results on characterization of rock strength using samples and by the failure wedge method are presented and compared.**

<sup>1</sup> В данной статье приводится только основная геологическая характеристика горных пород месторождения Хара-Шибирь. Авторы считают нецелесообразным расширять специализированную статью другими подробностями, не имеющими прямого отношения к рассматриваемой теме. Помимо этого авторы, описывая месторождение, не характеризуют способ его разработки и не проводят анализ генезиса трещиноватости и нарушенности рассматриваемого массива, поскольку данное месторождение находится в стадии разведки, а проект карьера только предстоит выполнить. Исследований трещиноватости в ближайшем будущем не предвидится, так как на стадии разведки ее принято определять по керну как блочность (средний размер неразрушенного куска керна). Испытания, которые проводились авторами, проведены в небольшой разрезной траншее, предназначенной для отбора проб для полупромышленных испытаний руд.



Рис. 1. Западный борт карьера месторождения Хара-Шибирь

генными породами верхнекаменской подсвиты с преобладанием дацитов и экструзивных кластолов. Вулканогенно-терригенная формация верхнего триаса представлена андезитами, дацитами, туфолавами среднего состава, туфами кислого состава, туфоконгломерациями, конгломератами и туфоконгломератами с прослоями андезитовых и андезит-базальтовых порфиритов, дацитовых порфиритов, их туфами и туфолавами, а также прослоями реалитовых порфиров. В породах отмечаются зоны развития вторичных кварцитов. Породы формации крепкие<sup>2</sup>, относятся к группе скальных.

Проблема оценки устойчивости бортов действующего карьера месторождения Хара-Шибирь возникла в связи с предстоящей его реконструкцией — углублением и расширением. В связи с этим необходимо было обеспечить получение надежных исходных данных для проведения геомеханических расчетов, в первую очередь параметров физико-механических свойств пород. Анализ фондовых материалов показал, что имеются лишь отдельные разрозненные сведения, касающиеся упомянутых характеристик. При этом параметры прочности пород были получены в лаборатории при одно-

осном сжатии образцов, что было явно недостаточно для оценки устойчивости бортов карьера.

Следует отметить, что в рассматриваемых условиях традиционные лабораторные методы определения прочностных характеристик горных пород, рекомендуемые автором книги [7]<sup>3</sup>, могут давать завышенные значения. Это связано с тем, что на прочность рассматриваемого массива в первую очередь оказывает влияние

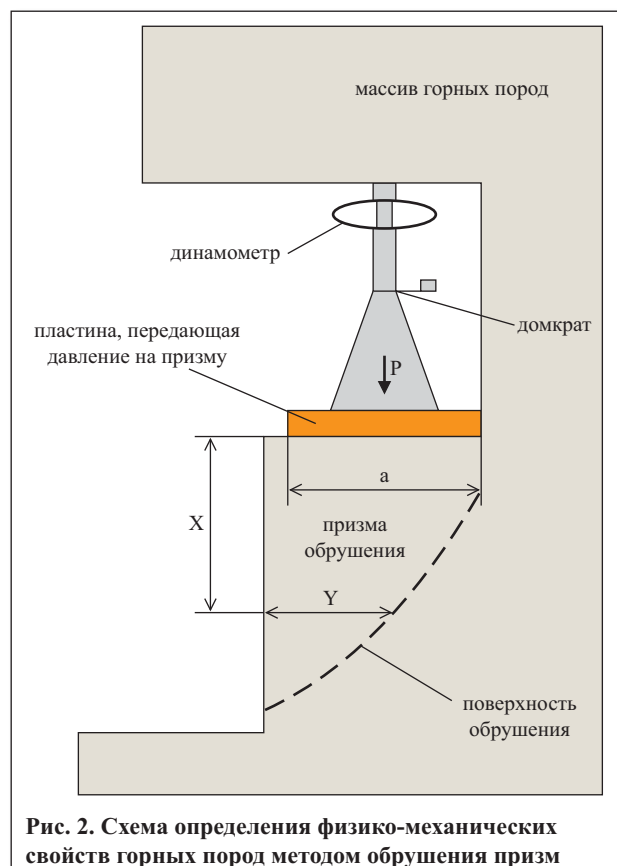


Рис. 2. Схема определения физико-механических свойств горных пород методом обрушения призм

<sup>2</sup> Так как речь идет о горнорудном предприятии, глубина разработки которого достигает 100 м и более, авторы используют терминологию, принятую в горной промышленности: слово «крепкие» используется в данной статье в связи с принятой методикой определения крепости пород в горной промышленности по шкале Протодьяконова (описываемые горные породы относятся к категориям II и III крепких пород). Кроме того, в инструкции [5] также употребляется термин «крепкие породы».

<sup>3</sup> При постановке проблемы авторы статьи опираются на работу, опубликованную более 45 лет назад. Однако, к сожалению, все расчеты по устойчивости откосов, сложенных скальными породами, и на сегодняшний день базируются на классическом методе Фисенко, предложенном в 1967 году [7]. Более современные методы в нашей стране пока не апробированы и не рекомендованы официальными инструкциями ВНИМИ (Научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела).

Таблица

Параметр	Лабораторные испытания (нагрузением образцов сферическими инденторами)			Полевые испытания (методом обрушения призм)			Отклонение
	среднее значение	стандартное отклонение	коэффициент вариации	среднее значение	стандартное отклонение	коэффициент вариации	
Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	23,16	0,13	0,57	35,90	9,66	24,03	-17,03
Сцепление $c$ , МПа	17,25	13,23	76,72	0,72	0,42	59,20	16,53



**Рис. 3. Определение физико-механических свойств горных пород методом обрушения призм в натуральных условиях**

ряд факторов: наличие трещин, расстояние между ними, их частота и ориентация, протяженность поверхности ослабления, шероховатость и прочность по контакту, влажность и сцепление заполнителя. В качестве доказательства этого положения авторами настоящей статьи было выполнено сравнение прочностных характеристик рассматриваемых горных пород двумя методами: (1) традиционным методом испытаний образцов горных пород в лаборатории путем их нагружения сферическими инденторами [2] с использованием прибора «Викинг» [3]; (2) методом обрушения призм горных пород в натуральных условиях (рис. 2–4) [1]. Результаты сравнения опытных данных приведены в таблице.

Результаты испытаний образцов горных пород в лабораторных условиях указывают на то, что среднее



**Рис. 4. Обрушенная призма со сформировавшейся очень сложной поверхностью обрушения**

значение угла внутреннего трения достаточно устойчиво, т.к. коэффициент вариации составил менее 1%. А надежность определения сцепления оставляет желать лучшего, т.к. коэффициент вариации составил 76,72%.

Значительные коэффициенты вариации, полученные при испытаниях методом обрушения призм, объясняются характером неоднородности массива, его значительной раздробленностью, а также сравнительно малым количеством дорогостоящих экспериментов (5 испытаний)<sup>4</sup>. Количество испытываемых образцов в лабораторных условиях составляло несколько десятков на геологический элемент, что позволило снизить общие погрешности определения средних значений показателей, хотя они и были значительными, особенно для сцепления.

При определении механических характеристик горных пород оба метода показали, что наименее точно определяется сцепление, причем по методу обрушения призм были получены низкие его значения (почти в 24 раза меньше по сравнению с величинами, полученными в лабораторных условиях). Это указывает на то, что данный метод в большей степени начинает учитывать раздробленность массива трещинами.

Необходимо отметить, что при определении физико-механических свойств лабораторным методом значение сцепления в массиве горных пород согласно [4–6] принимается для расчетов исправленным, с учетом коэффициента структурного ослабления  $\lambda$ :

$$C_m = \lambda \cdot C_0,$$

где  $\lambda$  — коэффициент структурного ослабления, отн. ед.;  $C_m$  — сцепление в массиве горных пород, МПа;  $C_0$  — сцепление по данным лабораторных испытаний, МПа.

<sup>4</sup> С одной стороны, понятно, что чем испытаний больше, тем характеристика определяется точнее. С другой стороны, есть и экономические критерии, которые не позволяют проводить большое количество дорогостоящих и трудоемких экспериментов, тем более что штамповые испытания для горных предприятий не предполагаются ни одной инструкцией. А согласно теории погрешности измерений для определения значения измеряемого параметра достаточно двух определений (основного и контрольного). Кроме того, в статье приведены количественные характеристики точности измерений в виде стандартных отклонений и говорится о пяти штамповых испытаниях и нескольких десятках лабораторных исследований на геологический элемент. При расчете же устойчивости, для чего, в сущности, и проводились штамповые испытания, согласно методикам ВНИМИ принимаются усредненные показатели характеристик горных пород без детального разделения на геологические элементы в силу интрузивного характера месторождения (когда все горные породы в значительной степени «перемешаны» между собой).



При этом значение  $\lambda$  для крепких горных пород с  $\sigma_{сж} = 200 \div 300 \text{ кг/см}^2 = 20 \div 30 \text{ МПа}$  (где  $\sigma_{сж}$  — предел прочности на одноосное сжатие) согласно инструкции и указаниям [5, 6] при размере элементарного блока порядка  $0,13 \div 0,17 \text{ м}$  примерно составляет  $0,02$ . Иными словами, значение коэффициента сцепления, определенное при лабораторных испытаниях, уменьшают в 50 раз, а значение угла внутреннего трения предлагается оставить неизменным.

Все это указывает на то, что в настоящее время все еще нет достаточно объективных методов определения характеристик механических свойств горных пород. Даже дорогостоящий метод обрушения призм не может дать полностью объективную информацию. Например, в одном из испытаний авторам не удалось разрушить призму, т.к. домкратом была выдавлена налегающая толща горных пород, что указывает на наличие ослабленных зон в массиве, учет которых в настоящее время достаточно сложен (рис. 5).

### Выводы

1. На примере месторождения Хара-Шибирь показана проблематичность определения параметров прочности скальных горных пород в массиве, имеющем поверхности ослабления и системы разнонаправленных трещин.

2. Полевые методы, например обрушения призм в массиве, тоже не позволяют учесть масштабный фактор в полном объеме и могут вносить в рассматриваемых условиях неопределенность в оценку прочности пород. Об этом свидетельствуют деформации налегающего массива, служащего упором для гидродомкрата, установленного на выделенной в массиве призме.

3. Среди причин сложившегося положения следует назвать и недостаточно полное инженерно-геологическое исследование массивов, имеющих тектоническую раздробленность, слоистость и трещиноватость. Особое значение приобретает выявление закономерностей развития сетей крупных трещин в массиве и их направленность, которые, в свою очередь, могут указать на положение ослабленных зон.

4. Такой прочностной параметр, как сцепление, определяется с очень низкой точностью даже с использованием метода обрушения призм, а введение коэффициента структурного ослабления  $\lambda$ , определяемого по среднему размеру элементарного блока массива, является, по существу, «страховочным» коэффициентом. Так как размеры элементарных блоков в массиве имеют тоже значительный разброс, согласно квадратичным правилам сложения погрешностей общая ошибка определения величины сцепления, используемого в окончательных расчетах, еще больше увеличивается.

5. Подводя итог, можно отметить, что на сегодняшний день не существует достаточно объективного метода определения механических свойств скального массива горных пород за исключением, наверное, еще более дорогого метода маркшейдерских наблюдений за реальным искусственным или естественным обрушением горного массива и опре-



Рис. 5. Разрушение налегающего массива при испытаниях методом разрушения призм

деления его механических свойств путем решения обратной задачи. Однако надо понимать, что и этим методом определяются прочностные показатели горного массива только на наблюдаемом участке. ☘

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабелло В.А., Смолич С.В. К вопросу определения характеристик прочности пород методом вертикального обрушения призм // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск «Забайкалье». М.: Мир горной книги, 2007. № ОВ4. С. 331-343.
2. ГОСТ 24941-81. Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами. М.: Госстандарт СССР, 1982 (по сост. на 18.05.2011 г.). 16 с.
3. Индикатор механических свойств «ВИКИНГ»: руководство по эксплуатации. СПб.: ООО «ЭНЭКО-ПРОМ», 2012.
4. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. СПб.: ВНИМИ, 1998, 208 с.
5. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. 188 с.
6. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.
7. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.