

## Научная статья

УДК 622.281 ; 622.274

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-92-101

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ПОРОДНЫХ ОБНАЖЕНИЙ****Копытов Александр Иванович<sup>1</sup>  
Масаев Юрий Алексеевич<sup>1</sup>,  
Масаев Владислав Юрьевич<sup>1,2</sup>,**<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева<sup>2</sup>Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия

\*для корреспонденции: demtchenkoi@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила:

28 марта 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 сентября 2023 г.

Принята к публикации:

20 сентября 2023 г.

Опубликована:

27 сентября 2023 г.

**Ключевые слова:**

прочность пород;

концентрация напряжений;

макродефекты;

водопоглощение; контактное

ослабление

**Аннотация.**

Добыча полезных ископаемых подземным способом зачастую сопровождается аварийными ситуациями, связанными с обрушением горных пород из-за снижения устойчивости породных обнажений, особенно при сооружении подготовительных горных выработок. Такие явления происходят из-за того, что сооружение горных выработок производится без должного учета строения и физических свойств вмещающих пород и геомеханических процессов, протекающих в породных массивах, что всегда необходимо учитывать. Поэтому изучение условий формирования зон нарушенности в законтурном массиве и разработка мероприятий по предотвращению таких явлений, обеспечивающих устойчивость породных обнажений, имеет очень важное значение.

С этой целью нами проводилось изучение состава, структуры, текстуры, определение комплекса физических свойств горных пород лабораторным методом, а также натурные наблюдения за устойчивостью породных обнажений в горных выработках на ряде угольных шахт Кузбасса.

В статье приведены результаты исследований прочностных параметров и структурных неоднородностей горных пород Кузнецкого угольного бассейна и характер их изменения при длительных нагрузках, наличие макродефектов, приводящих к контактному ослаблению напластований. Исследовались водно-физические свойства горных пород, влияющие на их прочностные показатели, а также влияние формы и размеров сечения горных выработок на устойчивость породных обнажений.

**Для цитирования:** Копытов А.И., Масаев Ю.А., Масаев В.Ю. Исследование влияния физических свойств горных пород на прочностные показатели породных обнажений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 4 (158). С. 92-101. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-92-101, EDN: VTQPFJ

При сооружении горных выработок, особенно с длительным сроком службы, важное значение имеет степень нарушенности законтурного массива и, как правило, этот факт проявляется при дальнейшей эксплуатации готовой горной выработки. В Кузбассе, например, неоднократно происходили вывалы кровли горных выработок (куполообразование),

достигающие иногда по длине выработки до 30 м при высоте купола порядка 4-5 м, а иногда и более.

Такие явления приводят не только к затратам труда и средств на их ликвидацию, но иногда и к тяжелым последствиям, связанным с травмированием. Поэтому изучение условий формирования зон нарушенности в законтурном массиве и разработка мероприятий по предотвращению таких явлений, обеспечивающих устойчивость породных обнажений, имеют очень важное значение.

Анализ проектной документации, паспортов проведения и крепления выработок, а также материалы обследования состояния выработок и натурные исследования их устойчивости показывают, что технология строительства и охрана выработок зачастую обосновываются без должного учета строения и физических свойств вмещающих пород и геомеханических процессов, протекающих в породных массивах при ведении горностроительных и эксплуатационных работ. Геомеханически наиболее слабо обосновываются способ проведения, место расположения и способ охраны выработок, тип, несущая способность и плотность крепи, допускаемая площадь породного обнажения. Между тем более полный учет и использование строения и свойств вмещающих пород, закономерностей их сдвижения и обрушения являются большим неиспользованным резервом и прогрессивным направлением повышения эффективности горнопроходческих и эксплуатационных работ.

Как известно, устойчивость обнажений горных пород может быть кратковременной и длительной. Данные о кратковременной устойчивости имеют первостепенное значение для обоснования технологии проведения выработок, данные о длительной устойчивости – для решения вопросов охраны и поддержания выработок в течение всего времени их эксплуатации. Для проведения выработок особенно важно знать время, в течение которого вновь образованные обнажения пород в кровле и бортах выработки сохраняют устойчивость. В зависимости от этого выработка может сооружаться без крепления, с использованием временной или предохранительной крепи, с постоянной крепью, возводимой вслед за забоем или с отставанием и т. п.

Известно, что устойчивость обнаженной части массива определяется соотношением деформационно-прочностных свойств пород и действующих в массиве напряжений. До тех пор, пока породы способны воспринимать без опасных деформаций и обрушений собственный вес и внутренние напряжения вблизи обнажений, они сохраняют устойчивость. За критерий, характеризующий степень устойчивости породных обнажений, рекомендуется соотношение

$$n = \frac{R_{cp}}{R_n}, \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент устойчивости пород;  $R_{cp}$  – средневзвешенный предел прочности горных пород, пересекаемых выработкой;  $R_n$  – напряжения, действующие на контуре незакрепленной выработки.

Средневзвешенный предел прочности пород, пересекаемых выработкой, предлагается определять из выражения

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i K_{cm,i} K_{o,i} K_{w,i} K_{dl,i} M_i}{\sum_{i=1}^n}, \quad (2)$$

где  $R_i$  – прочность горной породы в образце  $i$ -го слоя, МПа;  $K_{ст.}$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород  $i$ -го слоя (отдельности) за счет имеющихся в нем дефектов строения (коэффициент структурно-текстурного ослабления пород);  $K_o$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород  $i$ -го слоя за счет контактов напластования между  $i$ -ми слоями, отдельностями (коэффициент контактного ослабления);  $K_w$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород  $i$ -го слоя при обводнении;  $K_{дл.}$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород  $i$ -го слоя при длительном воздействии нагрузки (коэффициент длительной прочности);  $M_i$  – мощность  $i$ -го слоя породы, м.

В расчет принимаются свойства пород в пределах 1,5–2 размеров максимальной ширины выработки от контура вглубь массива.

Напряжения, действующие на контуре выработки, определяются из выражения

$$R = \gamma H K_{\phi} K_{\phi l} K_{\phi o}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – средневзвешенный объемный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина заложения горной выработки, м;  $K_{\phi}$  – коэффициент концентрации напряжений, зависящий от формы поперечного

сечения горной выработки;  $K_{вл}$  – дополнительный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий влияние соседних горных выработок;  $K_{во}$  – дополнительный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий влияние очистных работ ( $K_{во} = 1$ ).

Значения коэффициентов в формулах (2) и (3) колеблются в очень широких пределах, поэтому определению их и оценке при расчете параметров крепи и устойчивости выработок в

Таблица 1. Прочностные параметры горных пород Кузбасса

Table 1. Strength parameters of Kuzbass rocks

Тип породы	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Контактная прочность, кгс/мм <sup>2</sup>
Сильнотрещиноватые алевролиты	9-22	1,0-2,5	30,1-84,3
Сильнотрещиноватые песчаники	20-25	1,5-3,0	65,2-121,0
Массивные однородные алевролиты	60-141	5,0-8,0	175,9-244,0
Массивные однородные песчаники	90-180	9,0-18,0	210,1-339,4
Аргиллиты	6-60	0,8-5,5	–
Переслаивание пород	28-135	1,3-13	30,2-243,4
Уголь	2-25	0,5-2,4	–

Таблица 2. Группировка горных пород бассейна по прочности

Table 2. Grouping of rocks in the basin by strength

Группа пород	Характеристика пород по прочности	Предел прочности при сжатии, МПа	Примерное удельное участие (в объеме всех изученных пород), %
I	Весьма прочные	более 100	13
II	Прочные	81-100	17
III	Выше средней прочности	50-80	34
IV	Средней прочности	30-50	20
V	Слабые	менее 30	16

каждом конкретном случае, в конкретных условиях следует уделять особое внимание.

С этой целью нами проводилось изучение состава, структуры, текстуры, определение комплекса физических свойств горных пород лабораторным методом, а также натурные наблюдения за устойчивостью породных обнажений в горных выработках на ряде угольных шахт Кузбасса.

Исследования прочностных, акустических параметров горных пород, водопоглощения, размокаемости и др. проводились в лабораторных условиях по керновым образцам в соответствии с известными методиками.

Исследования физических свойств горных пород Кузбасса показали большую изменчивость структуры, текстуры и других свойств пород в пределах подавляющего большинства полей шахт как по площади, так и по глубине залегания. В частности, значительной изменчивостью строения и свойств характеризуются породы Прокопьевского, Киселевского, Томусинского, Кемеровского и Анжерского районов.

Особенно высокой прочностью и низкими деформационными свойствами обладают массивные песчаники Томусинского, Прокопьевско-Киселевского и Анжерского районов. Так, характерной особенностью углевмещающих пород Томусинского района является их высокая плотность, хрупкость и прочность вблизи земной поверхности. Здесь на глубине 20-60 м довольно широко представлены массивные песчаники и алевролиты с пределом прочности при сжатии 70-100 МПа. Прочность при сжатии нижележащих массивов алевролитов основной кровли и почвы угольных пластов достигает 100-120 МПа, модуль Юнга – 3,5·10 МПа, массивных песчаников соответственно 130-150 и 5,5·10 МПа.

Значительно ниже механические свойства пород Осинниковского, Байдаевского, Беловского, Ленинского районов, то есть пород Кольчугинской свиты, залегающих над комплексом угленосных отложений Балахонской свиты. По данным лабораторных испытаний

прочность породных массивов Кольчугинской свиты в основном на 20-30% ниже, чем Балахонской.

В последней значительно шире представлены массивы и толщи прочных и очень прочных песчаников, алевролитов и переслаивания их.

Исследования показали, что прочность горных пород колеблется в очень широких пределах (Таблица 1) и зависит главным образом от вещественного состава и макродефектов строения.

По прочности при сжатии углевмещающие горные породы Кузбасса можно разделить на 5 групп (Таблица 2).

Предел прочности при растяжении в 5-30 раз меньше, чем при сжатии. С увеличением слоистости, трещиноватости и других макродефектов строения соотношения между пределами прочности при сжатии и растяжении возрастают. У однородных горных пород массивной текстуры соотношение данных параметров составляет преимущественно 8-12, у трещиноватых и слоистых пород – 18-25 и более. Предел прочности при срезе в 1,5-4 раза больше, чем при растяжении; угол внутреннего трения слабых пород находится в интервале 25-40°, массивных и прочных пород – 37-45°.

Прочность горных пород при длительном воздействии достаточно больших нагрузок понижается, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению – пределу длительной прочности пород  $\delta_{дл}$ . Для большинства горных пород Кузбасса  $\delta_{дл} = (0,7-0,8)$ .

Снижение прочности горных пород при длительном воздействии нагрузок учитывается коэффициентом длительной прочности. Значения коэффициента  $K_{дл}$  для горных пород Кузнецкого бассейна приведены в Таблице 3.

Механические свойства горных пород, их устойчивость в обнажениях и разрушаемость при проведении горных выработок и ведении очистных работ в очень большой степени зависят от структурных неоднородностей пород и макродефектов их строения. В то же время последние сравнительно мало учитываются при выборе и обосновании технологии проведения горных выработок, типа крепи и способа охраны выработок.

Основными структурными неоднородностями горных пород бассейна являются следующие:

Таблица 3. Значения коэффициента длительной прочности горных пород  
Table 3. Values of the coefficient of long-term strength of rocks

Тип породы	Коэффициент длительной прочности, $K_{дл}$
Очень прочные и прочные песчаники и алевролиты	0,90-0,95
Песчаники, алевролиты и аргиллиты средней прочности	0,75-0,85
Слабые породы	0,60-0,75

естественная трещиноватость в пределах одного слоя, кливаж, микротрещины, контакты между минеральными образованиями и зёрнами и др. При этом размеры породных блоков, образуемых неоднородностями данного типа, варьируются в пределах от единиц до десятков сантиметров.

По интенсивности трещиноватости  $I_t$  (числу трещин в породе, приходящемуся на 1 м в направлении, перпендикулярном трещинам) породы можно разделить на 5 групп: нетрещиноватые, с интенсивностью трещиноватости менее 1; т. е.  $I_t < 1$ ; слаботрещиноватые,  $I_t = 1-2$ ; среднетрещиноватые,  $I_t = 3-5$ ; сильнотрещиноватые,  $I_t = 6-10$ ; весьма сильнотрещиноватые,  $I_t = 10$ .

Непосредственная кровля и почва рабочих угольных пластов бассейна по интенсивности трещиноватости представлены в основном породами второй-четвертой групп, и они преимущественно слоистые. Особенно повышенной слоистостью характеризуются породы Осинниковского, Абашево-Байдаевского, Беловского и Ленинск-Кузнецкого районов. По мощности слоев в пределах одной литологической разности горные породы целесообразно с точки зрения ведения горных работ разделить на следующие группы: массивнослоистые, мощность слоев  $M_c > 1$  м; крупнослоистые,  $M_c = 1,0-0,5$  м; среднеслоистые,  $M_c = 0,5-0,1$  м; мелкослоистые,  $M_c = 0,1-0,05$  м; тонкослоистые,  $M_c = 0,05-0,01$  м; весьма тонкослоистые,  $M_c < 0,01$  м.

Снижение прочности пород слоя (отдельности) за счет имеющихся в нем структурных неоднородностей и дефектов строения оценивается коэффициентом структурно-текстурного ослабления.

По степени ослабленности за счет структурно-текстурных элементов горные породы Кузбасса могут быть разделены на четыре группы (Таблица 4).

Таблица 4. Значения коэффициента структурно-текстурного ослабления горных пород  
Table 4. Values of the structural-textural coefficient rock weakening

Структура пород	Интенсивность трещиноватости, Ит	Коэффициент структурно-текстурного ослабления, Кст
Породы мелко- и тонкослоистые сильнотрещиноватые	10	< 0,2-0,3
Породы повышенной трещиноватости, среднеслоистые с дефектами строения	6-9	0,4-0,6
Породы слабослоистые, малотрещиноватые	1	0,7-0,9
Породы массивные и однородные	–	> 0,9

Таблица 5. Значения коэффициента контактного ослабления горных пород  
Table 5. Values of the coefficient of contact attenuation of rocks

Группа пород	Степень ослабления контактов	Характерные поверхности ослабления породы	Коэффициент контактного ослабления, К <sub>с</sub>
1	Неослабленные	Породы массивные, довольно однородные по составу	1,0
2	Малоослабленные	Микротрещины, редкие нитевидные прослойки, отдельные разрозненные скопления детрита и других веществ	0,75-0,95
3	Существенно ослабленные	Тонкие прослойки, кливажные отдельности, мелкие закрытые трещины, локальные скопления углистых, глинистых и других веществ	0,30-0,65
4	Сильно ослабленные	Прослойки из углистых и глинистых веществ, трещины закрытые, скопления углистых и глинистых веществ	0,10-0,20
5	Весьма сильно ослабленные	Трещины раскрытые, тектонические борозды скольжения, зеркала, отдельности в зонах нарушений	0,01-0,08
6	Почти полностью несвязные	Породы в зонах крупных геологических нарушений, выветрелые и др.	< 0,01

Прочность пород в приконтурной зоне выработок в наибольшей степени зависит от сцепления на контактах напластования и поверхностях ослабления. По этим поверхностям происходит обычно расслоение, расщепление и разрушение массива пород от контура выработки вглубь массива.

Поэтому прочность слоистых пород, а также пород с явными плоскостями напластования и макродефектами строения следует прежде всего определять из силы сцепления по поверхностям ослабления и напластования (а не только самой прочности слоев, отдельностей) в пределах 1,5-2 размеров максимальной ширины выработки от ее контура.

По данным лабораторных исследований макродефекты строения снижают прочность сцепления пород в 1,1-100 и более раз. Основными макродефектами строения и плоскостями ослабления пород бассейна являются трещины, слоистость, кливаж, борозды скольжения, зеркальные поверхности, присыпки из тонких углистых веществ в виде разрозненных пятен, разрозненные крупные зерна (преимущественно из других материалов), включения галечника и

гравия. Последние наиболее часто встречаются в породах кровли угольных пластов вблизи наносов в Томусинском и Прокопьевско-Киселевском районах.

Снижение прочности горных пород за счет наличия макродефектов строения, контактов напластования между слоями и отдельностями учитывается коэффициентом контактного ослабления (контактного сцепления) пород и определяется из выражения

$$K_o = R_o/R_n, \quad (4)$$

где  $R_o$  – предел прочности породы в образце при раскалывании по ослабленному контакту;  $R_n$  – то же по неослабленной (массивной) части образца.

Значения коэффициента  $K_o$  пород бассейна рекомендуется принимать по Таблице 5.

Наибольшее распространение в Кузбассе имеют горные породы второй-пятой групп.

Из водно-физических свойств горных пород исследовались водопоглощение, набухание, размокаемость и размягчаемость (Таблица 6).

Водопоглощение массивных песчаников составляет 0,4-5,0%, алевролитов – 0,6-10,6%, слоистых и трещиноватых пород – 0,9-16,5%. Песчаники, алевролиты и переслаивания этих пород с пределом прочности на сжатие более 80 МПа почти не размокают в воде. Слабые породы, в особенности тонкослоистые и трещиноватые, довольно сильно размокают и разрушаются после выдержки их в воде 1-6 часов. Большинство горных пород набухают в воде. При этом свыше чем у 80% всех пород величина набухания не превышает 0,5%, наибольшую склонность к набуханию проявляют слоистые трещиноватые алевролиты и аргиллиты.

Около 80% изученных пород размягчаются в воде. Коэффициент размягчаемости слабых пород обычно менее 0,3, пород с  $R_{сж} = 31-50$  МПа – 0,4-0,6, пород с  $R_{сж} = 60-90$  МПа – 0,7-0,9 с  $R_{сж} > 90$  МПа – 0,9-1,0.

Обводнение приводит к снижению прочности пород в 1,1-3 раза и к полному разрушению подавляющего большинства слабых аргиллитов и алевролитов. За счет существенного разупрочнения пород почвы при обводнении в зонах повышенного опорного давления возможно активное и довольно большое пучение пород в горных выработках.

Величина коэффициента снижения прочности пород при обводнении ( $K_w$ ) колеблется в пределах от 0,1 до 1,0, преобладающее значение – 0,3-0,9 (Таблица 7).

Исследование упругих и акустических свойств пород показало, что скорость распространения продольных ультразвуковых волн в породах колеблется в пределах от 1800 до

Таблица 6. Водно-физические свойства горных пород Кузбасса  
Table 6. Water-physical properties of rocks of Kuzbass

Название породы	Водопоглощение пород, %	Набухание пород, %	Размокаемость (удельное участие), %			Коэффициент размягчаемости
			без видимых признаков	слабое	полное	
Песчаник	1,4-5,0	0-1,5	85	15	–	0,40-0,98
Алевролит	1,4-10,6	0-2,73	50	35	15	0,13-0,90
Аргиллит	1,7-6,0	0,6-0,81	25	40	35	0-0,50
Переслаивание пород	1,4-8,4	0,01-1,45	35	35	30	0,15-0,92

Таблица 7. Значения коэффициента снижения прочности горных пород при обводнении  
Table 7 Values of the coefficient of reduction in the strength of rocks during flooding

Характеристика пород	Коэффициент снижения прочности, $K_w$
Прочные и очень прочные песчаники, главным образом на кремнистом цементе	0,95-1,0
Прочные песчаники и алевролиты массивной и слабослоистой текстуры на карбонатном, кремнисто-карбонатном и других смешанных цементах	0,7-0,9
Песчаники, алевролиты и аргиллиты средней прочности, преобладают глинистый и глинисто-известковый цементы	0,4-0,6
Слабые и очень слабые породы (аргиллиты, алевролиты, песчаники и др.), преимущественно на глинистом цементе	0,1-0,3

5900 м/с (преобладающая – 3200–4500 м/с), поперечных волн от 1200 до 2800 м/с (преобладающая – 1700–2400 м/с) (Таблица 8).

На скорость распространения упругих волн очень большое влияние оказывают структура и текстура пород, в особенности трещиноватость и слоистость. По мере роста прочности пород и уменьшения их макродефектности скорость волн в породах увеличивается. Сравнение данных Таблиц 1 и 8 указывает на взаимосвязь между прочностью пород и скоростью распространения в них продольных ультразвуковых волн.

Таблица 8. Упругие и акустические свойства горных пород Кузнецкого бассейна  
Table 8. Elastic and acoustic properties of rocks of the Kuznetsk basin

Название породы	Скорость распространения продольной волны	Скорость распространения поперечной волны	Модуль Юнга	Модуль сдвига	Коэффициент Пуассона
Песчаники	2020-5500	1710-2350	2,1-5,2	0,97-2,15	0,14-0,35
Алевролиты	2015-5900	1680-2295	1,3-4,3	0,89-1,98	0,14-0,37
Аргиллиты	2005-4500	1505-2010	0,71-3,34	0,41-1,55	0,26-0,31
Переслаивание пород	2520-4975	1820-2347	2,1-3,5	0,93-1,61	0,15-0,35
Уголь	1380-3490	600-1300	–	–	–

Упругие свойства горных пород также изменяются в широких пределах. Увеличение прочности всех типов испытанных пород сопровождается ростом модуля Юнга, модуля сдвига и уменьшением коэффициента Пуассона. Модуль Юнга песчаников, алевролитов и переслаиваний этих пород в основном довольно высокий – от  $2,8 \cdot 10^4$  до  $4 \cdot 10^4$  МПа, что указывает на их значительные упругие свойства. Характер деформаций и разрушения пород, в особенности с пределом прочности на сжатие более 80 МПа, указывает на возможность динамических проявлений горного давления – горных ударов при ведении горностроительных и эксплуатационных работ.

Влияние технологических факторов оценивается коэффициентами  $K_f$  и  $K_{вл}$ , входящими в формулу 3.

Комплексом шахтных исследований устойчивости породных обнажений были охвачены конвейерные и вентиляционные штреки лав, разрезные печи, бремсберги, квершлагги, полевые штреки и другие горные выработки сечением от 7 до 17 м<sup>2</sup> вне зоны влияния очистных работ ( $K_{во} = 1$ ). Выработки проводились комбайнами и буровзрывным способом на различной глубине и крепились анкерной, смешанной (металлический верхняк и деревянные стойки), металлической арочной и трапецевидной крепями, комбинированной анкер-металлической крепью. Площадь обнажений пород кровли и бортов в выработках колебалась от 4 до 300 м<sup>2</sup>, продолжительность наблюдений достигала 90 сут.

Исследования показали, что основными факторами, определяющими площадь обнажения и его длительность без обрушений и вывалов, являются прочностные и упругие характеристики массива, его структурные неоднородности, дефекты строения и обводненность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов И. Н. Комплексный эксплуатационный геомониторинг состояния подземных сооружений с облегченной крепью. Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений // Труды V международной конференции. Екатеринбург. 2016. С. 150–153.
2. Масаев Ю. А. Условия проведения горных выработок в напряженном породном массиве // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 24–26.
3. Демин В. Ф. [и др.] Напряженно-деформированное состояние приконтурного углепородного массива // Уголь. 2020. № 5. С. 63–67.
4. Доманов В. П., Масаев Ю. А., Масаев В. Ю., Балаганская Е. Н. Исследование условий формирования зоны нарушенности законтурного массива и ее влияние на устойчивость горных выработок // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Кемерово, ООО «ВостЭКО». 2015. № 1. С. 16–20.
5. Масаев Ю. А., Масаев В. Ю., Филина Л. Д. Новые разработки в области крепления и повышения устойчивости породных обнажений в горных выработках // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово. 2015. № 1. С. 41–45.

6. Еременко В. А., Лушников В. Н., Сенди М. П. Обоснование и выбор технологии проведения, способов крепления и поддержания горных выработок в неустойчивых горных породах глубоких горизонтов Холбинского рудника // Горный журнал. 2013. № 7. С. 59–67.

7. Яковлев Д. В. [и др.] Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт. СПб. : ВНИМИ, 2012. 83 с.

8. Егоров А. П., Рыжов В. А., Жвакин Ю. П., Сабиров Р. М., Кондаков Н. А. Обеспечение оперативного контроля безопасности ведения горных работ проведением локальных геофизических исследований и наблюдения на горных предприятиях Кузбасса // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал. Новокузнецк : Сиб. гос. ун-т. под общей редакцией Ф. Н. Франкова, 2018. № 2. С. 109–115.

9. Зыков В. С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово : Институт угля и углехимии СО РАН, 2020. 333 с.

10. Louchnikov V. N., Sandy M. P., Eremenko V. A. Ground support lines for underground mines absorption capacities and costs // Eurasian mining. 2014. № 1. Pp. 54–62. EDN: UEZVDL

11. Зубков А. В., Сентябов С. В. Новые подходы к оценке устойчивости скальных массивов горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 3–1. С. 68–77.

12. Weydt L. M., Bär K., Sass I., Ramírez-Guzmán A. A., Pola A., Lepillier B., Kummerow J., Mandrone G., Comina C., Deb P., Norini G., Gonzalez-Partida E., Ramón Avellán D., Macías J. L. Petrophysical and mechanical rock property database of the los humeros and acoculco geothermal fields (Mexico) // Earth System Science Data. 2021. Т. 13. № 2. С. 571–598.

13. Weinert S., Bär K., Sass I. Database of petrophysical properties of the mid-german crystalline rise // Earth System Science Data. 2021. Т. 13. № 3. С. 1441–1459.

14. Стась В. П., Стась П. П., Габараева А. О., Разоренова Е. Ю. К концепции управления сложноструктурными скальными массивами // Вектор ГеоНаук. 2022. Т. 5. № 1. С. 74–82.

15. Mikita T., Cibulka M., Patočka Z., Balková M., Bajer A. Comparison of different remote sensing methods for 3d modeling of small rock outcrops // Sensors. 2020. Т. 20. № 6. С. 1663.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### *Об авторах:*

Копытов Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, руководитель Сибирского отделения Академии горных наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, кафедра физических процессов и строительной геотехнологии освоения недр (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kai.spssh@kuzstu.ru

Масаев Юрий Алексеевич, канд. техн. наук, профессор, Почетный член Академии горных наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: recess@bk.ru

Масаев Владислав Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, кафедра физических процессов и строительной геотехнологии освоения недр (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5), e-mail: recess@bk.ru

#### *Заявленный вклад авторов:*

Копытов Александр Иванович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования.

Масаев Юрий Алексеевич – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста, выводы.

Масаев Владислав Юрьевич – обзор соответствующей литературы, написание текста.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

## STUDY OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS ON THE STRENGTH PARAMETERS ROCK OUTCROPS

Alexander I. Kopytov<sup>1</sup>  
Yury A. Masaev<sup>1</sup>,  
Vladislav Yu. Masaev<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup>Kuzbass State Agricultural Academy

\*for correspondence: kai.spssh@kuzstu.ru



## Article info

Received:

28 March 2023

Accepted for publication:

15 September 2023

Accepted:

20 September 2023

Published:

27 September 2023

**Keywords:** rock strength; stress concentration; macro-defects; water absorption; contact weakening.

**Abstract.**

*Underground mining is often accompanied by accidents associated with the collapse of rocks due to a decrease in the stability of rock outcrops, especially during the construction of preparatory mine workings. And such phenomena occur because of the fact that the construction of mine workings is made without due regard for the structure and physical properties of the host rocks and geomechanical processes occurring in the rock masses, which should always be considered. Therefore, it is very important to study the conditions of formation of disturbance zones in the outcrop massif and to develop measures to prevent such phenomena, ensuring the stability of rock outcrops.*

*For this purpose, we conducted a study of the composition, structure, texture, determination of the complex of physical properties of rocks by the laboratory method, as well as field observations of the stability of rock outcrops in mine workings in a number of coal mines of Kuzbass.*

*The article presents the results of studies of strength parameters and structural heterogeneities of rocks in the Kuznetsk coal basin and the nature of their changes under long-term loads, the presence of macro defects leading to contact weakening of layers. The water-physical properties of rocks influencing their strength indicators were investigated, as well as the influence of the shape and size of the mine cross-section on the stability of rock outcrops.*

**For citation:** Kopytov A.I., Masaev Yu.A., Masaev V.Y. Study of the influence of physical properties of rocks on the strength parameters rock outcrops. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 4(158):92-101. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-92-101, EDN: BTQPJF

## REFERENCES

1. Abramov I.N. Kompleksnyj ekspluatatsionnyj geomonitoring sostoyaniya podzemnyh sooruzhenij s oblegchennoj krep'yu. Proektirovanie, stroitel'stvo i eks-pluatatsiya kompleksov podzemnyh sooruzhenij. *Trudy V mezhdunarodnoj konferencii*. Ekaterinburg, 2016. S. 150–153.
2. Masaev Yu.A. Usloviya provedeniya gornyh vyrabotok v napryazhennom porod-nom massive. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013; 3:24–26.
3. Demin V.F. [et al.] Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie prikonturnogo ugleporodnogo massiva. *Ugol'*. 2020; 5:63–67.
4. Domanov V.P., Masaev Yu.A., Masaev V.Yu., Balaganskaya E.N. Issledovanie uslovij formirovaniya zony narushennosti zakonturnogo massiva i ee vliyanie na ustojchivost' gornyh vyrabotok. *Vestnik nauchnogo centr po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*. Kemerovo, OOO «VostEKO». 2015; 1:16–20.
5. Masaev Yu.A., Masaev V.Yu., Filina L.D. Novye razrabotki v oblasti krep'leniya i povysheniya ustojchivosti porodnyh obnazhenij v gornyh vyrabotkakh. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Kemerovo. 2015; 1:41–45.
6. Eremenko V.A., Lushnikov V.N., Sendi M.P. Obosnovanie i vybor tekhnologij provedeniya, sposobov krep'leniya i podderzhaniya gornyh vyrabotok v neustojchivykh gornyh porodakh glubokih gorizontov Holbinskogo rudnika. *Gornyj zhurnal*. 2013; 7:59–67.
7. Yakovlev D.V. [et al.] Metodicheskie ukazaniya po sozdaniyu sistem kontrolya sostoyaniya gornogo massiva i prognoza gornyh udarov kak elementov mnogofunkcional'noj sistemy bezopasnosti ugol'nyh shaht. SPb.: VNIMI; 2012.

8. Egorov A.P., Ryzhov V.A., Zhvakin Yu.P., Sabirov R.M., Kondakov N.A. Obespechenie operativnogo kontrolya bezopasnosti vedeniya gornyh rabot provedeniem lokal'nyh geofizicheskikh issledovaniy i nablyudeniya na gornyh predpriyatiyah Kuzbassa // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov: nauch. zhurnal. Novokuzneck: Sib. gos. un-t. pod obshchej redakciej F. N. Frankova; 2018. № 2. S. 109–115.

9. Zykov V.S. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza i drugie gazodinamicheskie yavleniya v shaftah. Kemerovo: Institut uglja i uglekhemii SO RAN; 2020. 333 s.

10. Louchnikov V.N., Sandy M.P., Eremenko V.A. Ground support lines for under-ground mines absorption capacities and costs. *Eurasian mining*. 2014; 1:54–62. EDN: UEZVDL

11. Zubkov A.V., Sentyabov S.V. Novye podhody k ocenke ustojchivosti skal'nyh massivov gornyh porod. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*. 2020; 3–1:68–77.

12. Weydt L.M., Bär K., Sass I., Ramírez-Guzmán A.A., Pola A., Lepillier B., Kummerow J., Mandrone G., Comina C., Deb P., Norini G., Gonzalez-Partida E., Ramón Avellán D., Maciás J.L. Petrophysical and mechanical rock property database of the los hu-meros and acocolco geothermal fields (Mexico). *Earth System Science Data*. 2021. T. 13. № 2. S. 571–598.

13. Weinert S., Bär K., Sass I. Database of petrophysical properties of the mid-german crystalline rise. *Earth System Science Data*. 2021. T. 13. № 3. S. 1441–1459.

14. Stas' V.P., Stas' P.P., Gabaraeva A. O., Razorenova E. Yu. K koncepcii upravleniya slozhnostrukturnymi skal'nymi massivami. *Vektor GeoNauk*. 2022; 5(1):74–82.

15. Mikita T., Cibulka M., Patočka Z., Balková M., Bajer A. Comparison of different remote sensing methods for 3d modeling of small rock outcrops. *Sensors*. 2020; 20(6):1663.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

#### *About the authors:*

Aleksandr I. Kopytov, Dr. Sc. in Engineering, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, 28 Vesennaya str.), e-mail: kai.spssh@kuzstu.ru

Yuri A. Masaev, C. Sc. in Engineering, Professor, Honorary Member of the Academy of Mining Sciences, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, 28 Vesennaya str.), e-mail: recess@bk.ru

Vladislav Yu. Masaev, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, 28 Vesennaya str.), Kuzbass State Agricultural Academy (650056, Russia, Kemerovo, Markovtseva str., 5), e-mail: recess@bk.ru

#### *Contribution of the authors:*

Aleksandr I. Kopytov – formulation of a research problem, scientific method, conceptualization of research.

Yuri A. Masaev – conceptualization of research, data collection and analysis, review of relevant literature, writing text, conclusions.

Vladislav Yu. Masaev – review of the relevant literature, writing the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

