

## Анализ зависимостей показателя RQD от геологических характеристик горных пород

А.В. Некрасов ✉, В.В. Ческидов, А.Ю. Некрасова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация  
✉ m2311920@misis.ru

**Резюме:** В статье представлены выявленные зависимости параметра «Показатель качества массива горных пород» (The rock quality designation, RQD), разработанного в 1964 г. Диром, от геологических характеристик горных пород, величины смещения горных пород при формировании развала горной массы после взрыва. Определены возможные направления применения данного параметра. Приведены различные методики определения RQD. Выявлена взаимосвязь этого показателя с широко применяемыми аналогичными классификациями горных пород Бениавски (Rock mass rating) и рейтинговой системой Бартона (Q).

Анализ основных зависимостей RQD производился на горнодобывающем предприятии, где имелась геологическая блочная модель со значением данных по каждому субблоку. Получены корреляционные зависимости от трещиноватости горных пород, горизонтального смещения горной массы в развале, плотности горных пород и др. Величина горизонтального смещения горной массы определялась на основании экспериментальных работ с использованием маркеров-датчиков.

Выявленные зависимости RQD от геологических характеристик горных пород, горизонтального смещения горной массы позволяют с большей степенью достоверности прогнозировать смещение горных пород. Представленная в статье матрица парной корреляции горизонтального смещения горной массы от геологических характеристик горных пород и RQD позволяет оценить влияние геологических параметров на величину горизонтального смещения горных пород.

**Ключевые слова:** показатель качества массива горных пород, RQD, свойства горных пород, открытая разработка месторождений, подземная разработка месторождений, характеристики горных пород, геологическая блочная модель, геомеханические характеристики горных пород, смещение горных пород

**Благодарности:** Авторы выражают признательность коллегам за предоставление необходимых материалов.

**Для цитирования:** Некрасов А.В., Ческидов В.В., Некрасова А.Ю. Анализ зависимостей показателя RQD от геологических характеристик горных пород. *Горная промышленность*. 2026;(1):143–150. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-143-150>

## Analysis of RQD dependencies on geological characteristics of rocks

A.V. Nekrasov ✉, V.V. Cheskidov, A.Yu. Nekrasova

National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation  
✉ m2311920@misis.ru

**Abstract:** This article presents the revealed dependencies of the Rock Quality Designation (RQD) parameter developed in 1964 by Deere on the geological characteristics of rocks, the degree of rock displacement during muck pile formation after blasting. Possible directions in application of this parameter are defined. Various methods are described for determining the RQD index. Interrelation has been revealed between the RQD index and the widely used similar classifications of Bieniawski (Rock mass rating) and the Barton rating system (Q).

Analysis of the main dependencies of the RQD index was performed at a mining company, where a geological block model was available with the data values for each sub-block. Correlation dependences were obtained of the RQD index on the rock fracturing, horizontal displacement of rock mass in the muck pile, rock density, etc. The degree of the horizontal rock mass displacement was determined based on experimental tests using marker sensors.

The dependencies revealed in this article between the RQD index and the geological characteristics of rocks and the horizontal displacement of rock mass make it possible to predict the displacement of rocks with a greater degree of reliability. The presented matrix of pair correlation between the horizontal displacement of rock mass and the geological characteristics of rocks and the RQD index allows assessing the impact of geological parameters on the degree of horizontal rock displacement.

**Keywords:** rock quality designation, RQD, rock properties, open pit mining, underground mining, rock characteristics, geologic block model, geomechanical rock parameters, rock displacement prediction

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to colleagues from mining companies for providing the necessary materials.

**For citation:** Nekrasov A.V., Cheskidov V.V., Nekrasova A.Yu. Analysis of RQD dependencies on geological characteristics of rocks. *Russian Mining Industry*. 2026;(1):143–150. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-143-150>

## Введение

Показатель «The rock quality designation» (далее RQD), разработанный Диром в 1964 г., массово используется для определения возможного давления горных пород и выбора крепления в подземных горных выработках. В настоящее время показатель RQD является одним из основных показателей, характеризующих трещиноватость массива горных пород, а также используется при определении других показателей и классификаций. В источнике [1] авторы приводят хронологию применения различных классификаций горных пород по устойчивости: 1946 г. – классификация Терцаги; 1950 г. – геологическая классификация Стини; 1958 г. – инженерная классификация Лоффера; 1964 г. – критерий устойчивости Дира (RQD); 1972 г. – рейтинговая классификация «Викхема» (RSR); 1973 г. – геомеханическая классификация Бениявски (RMR); 1974 г. – классификация Бартона (Q); 1976 г. – классификация Лобшира и Тэйлора (MRMR); 1980 г. – методика определения параметров камерных систем Мэтьюса и Кука; 1984–1994 гг. – работы Лобшира и др. Среди большого количества указанных показателей, характеризующих совокупность физико-механических свойств горных пород, нужно выделить следующие основные широко применяемые за рубежом: RMR (Rock Mass Rating), Q (Rock Mass Quality Index), основанные на показателе RQD [2].

Считается, что «высококачественная» (более монолитная) порода имеет RQD более 75%, «низкокачественная» (более трещиноватая) – менее 50%. Показатель RQD применяется для различных целей. Основное направление показателя RQD – это определение структурной нарушенности горных пород, в том числе при добыче полезных ископаемых подземным и открытым способами. Показатель RQD зависит от числа трещин и количества трещин на единицу длины, в связи с чем можно сделать вывод, что показатель RQD напрямую связан с трещиноватостью массива горных пород, тем не менее имеются условия, при которых показатели трещиноватости массива горных пород не всегда коррелируют с показателем RQD.

В статье представлены различные методики определения параметра RQD, а также других показателей, основанных на параметре RQD. Определены основные зависимости параметров трещиноватости массива горных пород от параметра RQD и влияние данного параметра на горизонтальное смещение массива горных пород при формировании развала горной массы в процессе производства взрывных работ.

## Материалы и методы

### Методики определения показателя RQD

RQD – показатель качества горных пород, определяется на основании визуального осмотра и геометрических замеров трещин в массиве горных пород. Значение RQD по формуле Дира определяется как соотношение длины  $l$  кусков

сков керна более 10 см к общей длине  $l$  керна [3–5]. Формула, представленная Диром:

$$RQD = \frac{l (>10 \text{ см})}{l}, \quad (1)$$

где  $l (>10 \text{ см})$  – суммарная длина участков керна более 10 см;  $l$  – общая длина керна.

В источнике [6] авторы рекомендуют использовать отрицательное экспоненциальное распределение для определения зависимости между RQD и средней частотой разрывов на метр, как показано в уравнении:

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – средняя частота разрывов на 1 м.

Расчет значений RQD может также производиться по формуле Хадсона [2]:

$$RQD = 100(0,1xFF + 1)\exp(-0,1\lambda FF), \quad (3)$$

где  $FF$  – количество трещин на 1 м.

В источниках [7; 8] использовалась эмпирическая формула определения RQD, предложенная Палмстромом:

$$RQD = 115 - 3,3J_v, \quad (4)$$

где  $J_v$  – количество трещин на 1 м<sup>2</sup>.

### Использование показателя RQD в других расчетах

Широкое распространение за рубежом при выборе крепления подземных горных выработок получили два критерия по устойчивости массивов: классификация Бениявски (RMR) [9] и критерий Бартона (Q) [2; 10; 11]. Критерий устойчивости горных пород Бартона используется рудниками во всем мире и применяется в качестве основной системы оценки устойчивости массива (комплексное обозначение характеристик горных пород). Классификация горных пород по Q рейтингу представлена 9 категориями, что позволяет более точно определять тип крепи подземных горных выработок (в отличие от 5 категорий устойчивости горных пород по показателю RQD).

Устойчивость горных пород по критерию Бартона (Q рейтинг) [11; 12] оценивает влияние таких факторов, как показатель RQD, прочность горных пород, глубина разработки, сечение горных выработок, напряженное состояние в массиве горных пород, количество, расположение и состояние трещин, включая степень их изменения. Система Бартона применяется в методах эмпирического проектирования при оценке устойчивости массива горных пород и крепления горных выработок.

Численное значение Q определяется по формуле:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF'}, \quad (5)$$

**Таблица 1**  
Зависимость показателя RQD от количества трещин в массиве горных пород

**Table 1**  
The dependence of the RQD index on the number of fractures in the rock mass

Классы	Описание состояния массива	Количество трещин на 1 м <sup>3</sup>	Значение RQD
A	Весьма слабое	≥27	0–25
B	Слабое	20–27	25–50
C	Среднее	13–19	50–75
D	Хорошее	8–12	75–90
E	Отличное	0–7	90–100

**Таблица 2**  
Зависимость показателя Q рейтинга от устойчивости горных пород

**Table 2**  
The dependence of the Q-value on the rock stability

Категория горного массива по Q-рейтингу	Значение Q-рейтинга	Степень устойчивости массива горных пород
G	0,001–0,01	Исключительно слабый
F	0,01–0,1	Весьма слабый
E	0,1–1,0	Очень слабый
D	1,0–4,0	Слабый
C	4,0–10,0	Средний
B	10,0–40,0	Крепкий
A3	40,0–100,0	Очень крепкий
A2	100,0–400,0	Весьма крепкий
A1	400,0–1000	Исключительно крепкий

где  $RQD$  – показатель качества горной породы;  $J_n$  – показатель количества систем трещин;  $J_r$  – показатель шероховатости поверхности трещин;  $J_a$  – показатель изменчивости (сцепления) трещин;  $J_w$  – водный фактор;  $SRF$  – фактор снижения напряжений.

Значения указанных выше параметров представлены в табл. 1 и 2.

Ниже представлены минимальные и максимальные значения коэффициентов  $J_n$ ,  $J_r$ ,  $J_a$ ,  $J_w$ ,  $SRW$ , используемых в формуле (5). Более полное описание значений данных показателей представлено в литературном источнике [12].

Показатель количества систем трещин  $J_n$  варьируется от значения 0,5 для массивных не трещиноватых горных пород до значения 20 для разрушенного сильнотрещиноватого массива горных пород.

Показатель шероховатости поверхности  $J_r$  имеет значения от 0,5 для плоской поверхности трещин до 4,0 для неровной поверхности.

Показатель изменчивости трещин  $J_a$  имеет значения от 0,75 без изменения поверхности трещин в горной породе до 20,0 при изменении поверхности трещин, в т.ч. при включении глины.

Водный фактор  $J_w$  зависит как от обводненности массива горных пород, так и от давления воды. При необходимом

массиве горных пород или с незначительными притоком (до 5 л/мин) и давлением (менее 1,0 кг/см<sup>2</sup>) показатель  $J_w$  составляет 1,0. При интенсивном водном притоке или давлении более 10,0 кг/см<sup>2</sup> показатель  $J_w$  составляет 0,1–0,05.

Фактор напряжений  $SRF$  также имеет различные значения при разных условиях. Так, например, в горных крепких породах (без глины и глубиной выемки более 50 м) фактор напряжений  $SRF$  составляет 2,5. В случае наличия многочисленных имеющихся зон ослабления горных пород, содержащих глину, разрушенную или рыхлую породу на любой глубине, фактор напряжений  $SRF$  принимается равным 10,0, а при определенных состояниях напряженности массива горных пород фактор напряжений может быть увеличен до 20,0.

В источнике [13] приведены результаты исследования в подземной лаборатории «Aspo» (Швеция). Выявлено, что параметры коэффициента напряжений  $SRF$  и обводненности пород  $J_w$  не являются основными для оценки устойчивости массива при подземной изоляции радиоактивных отходов. Поэтому в системе оценки пригодности массива пород принято использовать произведение четырех параметров по формуле:

$$Q = \frac{RQD \cdot J_r}{J_n \cdot J_a} \quad (6)$$

Стоит также отметить необходимость применения значений показателя RQD в нормативных документах.

В ГОСТ 25100 Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. Soils. Classification, в таблице приложения Г4, в табл. 3 приведен параметр RQD для определения качества грунта.

**Таблица 3**  
Зависимость качества скального грунта от показателя RQD

**Table 3**  
Dependence of rock quality on the RQD index

Качество скального грунта	Показатель качества RQD, %
Очень хорошее	RQD >90
Хорошее	90 ≥ RQD ≥ 75
Среднее	75 ≥ RQD ≥ 50
Плохое	50 ≥ RQD ≥ 25
Очень плохое	RQD <25

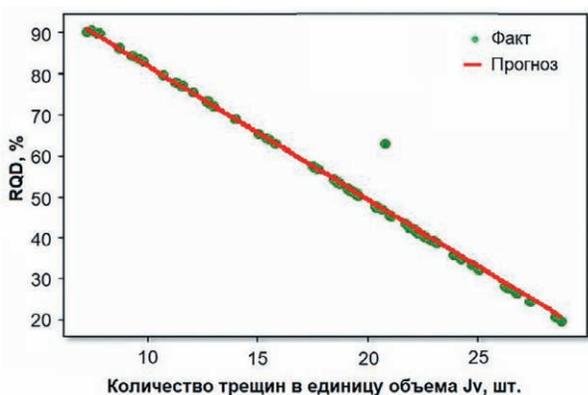
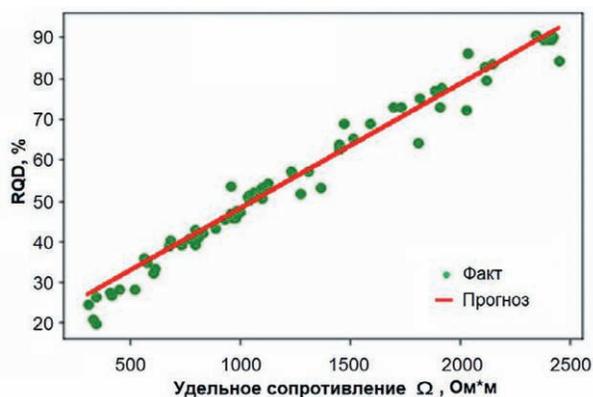
Также показатель RQD должен определяться в соответствии с п. 23 Приложения 1 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов». В СП 50-101-2004 при проектировании подземных сооружений I уровня ответственности дополнительно надлежит полевыми и лабораторными методами определять физико-механические характеристики дисперсных и скальных грунтов, в том числе значение показателя RQD.

Maria Chatziangelou и Basile Christaras в источнике [14] приводят геологическую классификацию горных пород MRM (Rock Mass Rating), предложенную Бениавски, основанную на показателе RQD. Данная классификация учитывает механические и структурные характеристики горных пород и определяется как:

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B, \quad (7)$$

где A1 – оценка горной массы на одноосное сжатие; A2 – RQD-оценка качества бурового керна (качества горных пород); A3 – расстояние между трещинами; A4 – состояние трещин; A5 – состояние грунтовых вод; B – оценка состояния трещин.

Muhammad J. et al. проводили исследование зависимостей показателя RQD от количества трещин  $J_v$  (шт.) в единице объема и удельного сопротивления  $\Omega$  (Ом\*м) [15]. Исследования проводились с применением двумерной электроразведочной томографии электрического сопротивления (2D ERT) в забуренных скважинах. В результате получены зависимости показателя RQD от количества трещин  $J_v$  в единице объема и удельного сопротивления  $\Omega$ . Эмпирическая корреляция показала, что  $J_v$  влияет на RQD больше, чем  $\Omega$ . Основываясь на сильной корреляции между RQD и удельным сопротивлением, можно сделать вывод, что удельное сопротивление очень чувствительно к степени трещиноватости горного массива. В ходе исследования также был использован беспилотный летательный аппарат для создания облака точек поверхности и определения параметра RQD в верхней части уступов. Корреляционная зависимость между RQD и удельным сопротивлением была высокой, о чем свидетельствует значение достоверности аппроксимации ( $R^2 = 0,96$ ). Данные представлены на рис. 1.



**Рис. 1**  
Выявленные зависимости показателя RQD от удельного сопротивления  $\Omega$  и количества трещин в единице объема  $J_v$

**Fig. 1**  
The revealed dependences of the RQD index on the  $\Omega$  resistivity and the number of fractures per unit volume  $J_v$

По полученным расчетным регрессионным зависимостям выявлена формула для определения RQD:

$$RQD = 102,5 - 2,85J_v + 0,003 \Omega. \quad (8)$$

Монолитная горная порода имеет более высокое сопротивление. Низкое сопротивление свидетельствует о сильнотрещиноватом массиве горных пород.

В связи с этим можно сделать вывод, что определение RQD является важной задачей как в геомеханике, геологии, так и в горном деле. Учитывая рост научно-технического прогресса, совершенствование оборудования и программного обеспечения, определение показателя RQD может производиться с довольно высокой точностью, что позволит повысить безопасность в горном деле.

### Результаты

Для проведения опытных работ авторов изначально интересовали зависимости горизонтального смещения горных пород в процессе формирования развала взорванной горной массы от геологических, геомеханических характеристик горных пород, параметров буровзрывных работ. Значения горизонтального смещения горных пород определялись на основании данных, полученных в результате применения маркеров дистанционного типа.

Ранее нами уже была зафиксирована максимальная корреляция горизонтального смещения горной массы, полученная со следующими параметрами: плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup> ( $P = 0,829$ ); количество трещин на метр, шт. ( $N = 0,776$ ); среднее расстояние между трещинами в массиве, м ( $a = 0,804$ ) [16].

В настоящем исследовании приведем данные по выявленным зависимостям параметра RQD от геологических, геомеханических данных, горизонтального смещения горных пород.

Анализ зависимостей показателя RQD производился на предприятии, добывающем полиметаллические руды, на котором имелась геологическая блочная модель со следующими данными по каждому субблоку: наименование вмещающих пород, коэффициент крепости пород по Протодьяконову, плотность горных пород, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, количество трещин в массиве горных пород, среднее расстояние между трещинами в массиве, предел прочности на одноосное сжатие и растяжение, показатели RQD и прочие. Параллельно анализировалось влияние геологических характеристик горных пород на их горизонтальное смещение в процессе формирования развала горной массы. Взрываемые блоки располагались на различных горизонтах. Разница между минимальным и максимальным горизонтом составила около 170 м, что повышает актуальность полученных результатов.

Основные параметры буровзрывных работ при проведении опытно-промышленных взрывов: высота уступа – от 8 до 9 м; диаметр скважин – 200 мм; расстояние между рядами скважин – от 4,5 до 6,1 м; расстояние между скважинами в ряду – от 4,7 до 6,9 м; значения удельного расхода взрывчатых веществ находились в диапазоне от 0,78 до 1,31 кг/м<sup>3</sup>.

Более подробно выявленные зависимости горизонтального смещения горных пород от параметров буровзрывных работ представлены в работе [16].

Основные геологические данные по экспериментальным взрываемым блокам приведены в табл. 4, а дополнительные геомеханические данные – в табл. 5.

Таблица 4  
Геологическая характеристика горных пород

Table 4  
Geological characteristics of rocks

Наименование вмещающих пород	Коэффициент крепости пород по Протоdjяконову	Объемный вес горных пород, т/м <sup>3</sup>	Категория трещиноватости массива
Алевролиты, песчаники, диоритовые порфириды, силикатные и магнетитовые скарны	5–16	2,7–3,2	II–IV

Таблица 5  
Геомеханическая характеристика горных пород

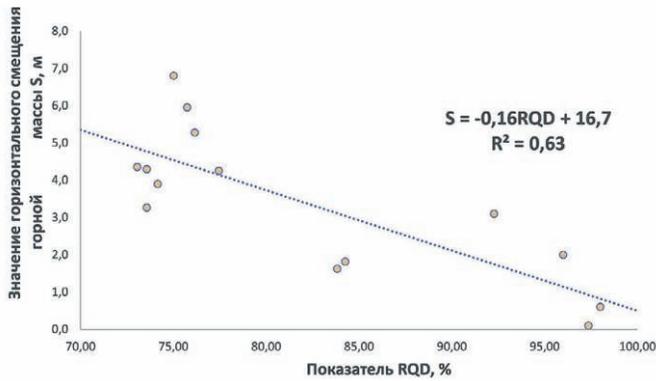
Table 5  
Geomechanical characteristics of rocks

Горизонтальное смещение горных пород (маркера), м	Плотность пород, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга E, 109Па	Количество трещин N на 1 м, шт.	Коэф. Пуассона $\mu$	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	RQD, %
4,4	2700,0	54,30	7,3	0,19	75,97	6,40	73,1
3,3	2700,0	54,30	7,0	0,19	75,96	6,40	73,6
6,0	2700,0	54,30	6,4	0,19	75,16	6,40	75,7
5,3	2700,0	54,30	6,4	0,19	75,16	6,40	76,2
6,8	2700,0	54,30	6,1	0,19	74,89	6,40	75,0
4,3	2700,0	54,30	5,6	0,19	74,99	6,40	77,4
1,6	2710,0	61,00	4,0	0,20	68,55	6,70	83,8
1,8	2710,0	61,00	4,0	0,20	68,55	6,70	84,3
0,6	3210,0	43,80	2,5	0,19	73,84	3,80	98,0
0,1	3210,0	43,80	2,5	0,19	73,83	3,80	97,5
2	3210,0	43,80	2,5	0,19	73,79	3,80	96,0
3,1	2710,0	52,40	2,9	0,20	73,70	4,50	92,3
3,9	2740,0	54,00	6,6	0,20	73,22	5,10	74,2
4,3	2740,0	54,00	7,2	0,20	73,13	5,10	73,6

Таблица 6  
Матрица парной корреляции горизонтального смещения горной массы с геологическими характеристиками горных пород

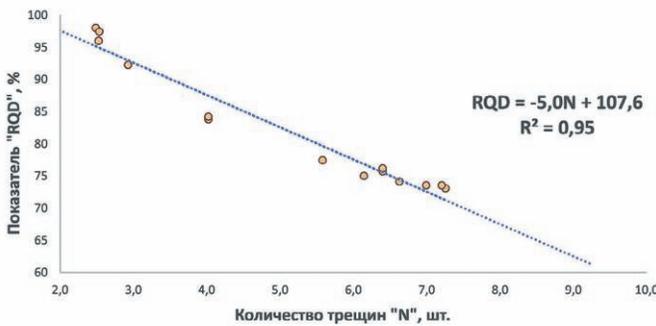
Table 6  
A matrix of pair correlation between horizontal displacement of the rock mass and geological characteristics of rocks

Параметры	S	P	E	N	$\mu$	a	$G_{сж}$	$G_p$	RQD
Фактическое горизонтальное смещение S, м	1	-0,689	0,396	0,776	-0,170	-0,804	0,483	0,569	-0,795
Плотность горных пород P, т/м <sup>3</sup>	-0,689	1	-0,888	-0,726	-0,345	0,554	0,025	-0,843	0,829
Модуль Юнга E	0,396	-0,888	1	0,513	0,513	-0,208	-0,442	0,876	-0,661
Среднее количество трещин N на метр, шт.	0,776	-0,726	0,513	1	-0,049	-0,715	0,399	0,650	-0,977
Коэффициент Пуассона $\mu$	-0,170	-0,345	0,513	-0,049	1	0,540	-0,726	0,037	-0,044
Среднее расстояние a между трещинами в массиве	-0,804	0,554	-0,208	-0,715	0,540	1	-0,763	-0,549	0,684
Предел прочности на одноосное сжатие $G_{сж}$ , МПа	0,483	0,025	-0,442	0,399	-0,726	-0,763	1	-0,100	-0,264
Предел прочности на растяжение $G_p$ , МПа	0,569	-0,843	0,876	0,650	0,037	-0,549	-0,100	1	-0,767
RQD, %	-0,795	0,829	-0,661	-0,977	-0,044	0,684	-0,264	-0,767	1



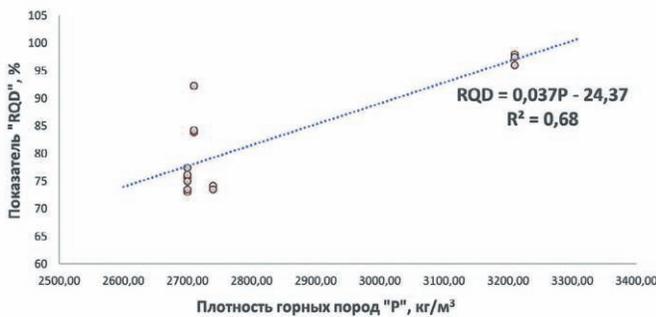
**Рис. 2**  
Зависимость горизонтального смещения  $S$  горной массы от показателя RQD

**Fig. 2**  
A dependence of the horizontal displacement of the rock mass  $S$  on the RQD index



**Рис. 3**  
График зависимости показателя RQD от количества трещин  $N$  на метр

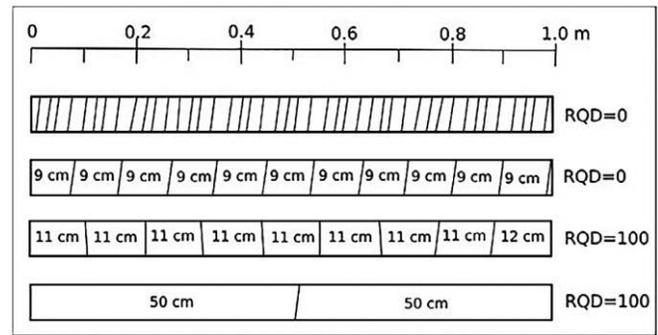
**Fig. 3**  
A graph of the RQD index dependence on the number of fractures per meter  $N$



**Рис. 4**  
График зависимости показателя RQD от плотности  $P$  горных пород

**Fig. 4**  
A graph of the RQD index dependence on the rock density  $P$

Результаты корреляционного анализа параметра RQD с геологическими и геомеханическими параметрами горных пород, фактического горизонтального смещения горной массы, геологических данных блочной модели представлены в табл. 6. На рис. 2–4 наглядно показаны вы-



**Рис. 5**  
Пример определения показателя RQD

Источник: [17]

**Fig. 5**  
An example of the RQD index definition

Source: [17]

явленные зависимости с максимальной корреляцией показателя RQD с представленными в табл. 6 параметрами.

Исходя их данных, представленных в табл. 6 и на рис. 2–4, можно констатировать следующее:

Максимальная корреляция показателя RQD достигнута с горизонтальным смещением горной массы  $-0,795$ , плотностью горных пород  $0,829$ , количеством трещин  $-0,977$ , пределом прочности горных пород на растяжение  $-0,767$ , средним расстоянием между трещинами  $0,684$ .

Графическая зависимость RQD с пределом прочности горных пород на растяжение не представлена, так как она имеет низкую корреляционную зависимость с горизонтальным смещением  $S$  горной массы.

Выявленная корреляция плотности горных пород с показателем RQD носит скорее всего случайный характер, тем не менее плотность горных пород коррелирует с горизонтальным смещением горных пород и достигает  $-0,689$ .

### Обсуждение результатов

В данном исследовании получена зависимость с высокой корреляцией показателя RQD с горизонтальным смещением  $S$  горных пород ( $-0,795$ ), тем не менее прогнозировать смещение горной массы, учитывая только один показатель RQD, не рекомендуется, так как смещение горных пород зависит от нескольких факторов.

Ранее в работе [16] нами были сделаны выводы, которые актуальны и в этой статье: зависимость горизонтального смещения горных пород в равной степени зависит как от параметров буровзрывных работ, так и от геологических характеристик горных пород. Необходимо дальнейшее изучение влияния различных факторов на величину смещения горных пород.

На рис. 5 представлен пример по определению показателя RQD [17].

Как видно на рис. 5, при значении расстояния между трещинами 9 см в одном случае и 11 см в другом случае, с разностью между трещинами всего 2 см, значения RQD будут абсолютно разные – 0 и 100. В связи с чем авторы также отмечают, что во многих случаях значение показателя RQD может быть недостаточным для прогнозирования какого-либо результата. Кроме этого, необходимо анализировать другие геологические характеристики горных пород и выявленные зависимости от показателя RQD, а также производить расчеты по представленным выше методикам.

Также стоит отметить, что показатель RQD в РФ начал применяться сравнительно недавно, в отличие от начала использования его за рубежом. Данный показатель применяется не на всех месторождениях. Это обусловлено необходимостью проведения дополнительных геологических исследований, привлечения специализированных компаний, приобретения специализированного программного обеспечения и оборудования и т.д.

### **Выводы**

В результате проведенного исследования определены зависимости показателя RQD от показателей трещиноватости горных пород, горизонтального смещения горной массы.

В производственных условиях показатель RQD позволяет прогнозировать смещение горных пород, но для большей надежности прогнозируемого результата необходимо дополнительно проанализировать зависимость горизонтального смещения горных пород от следующих геологических показателей: количество трещин  $N$  на метр; среднее расстояние  $a$  между трещинами в массиве.

Параметр количества трещин  $N$  на метр – имеет максимальную корреляционную зависимость от показателя RQD ( $-0,977$ ). При этом показатель RQD имеет меньшую

корреляцию со средним расстоянием  $a$  между трещинами ( $0,684$ ). Это объясняется специфичностью определения показателя RQD (одно пороговое значение) и многообразием показателей трещиноватости массива горных пород, в связи с чем необходимо проводить дополнительные исследования в этом направлении.

Имея данные по показателю RQD, возможно прогнозировать горизонтальные смещения горных пород в развале горной массы. Для подтверждения прогнозной величины горизонтального смещения периодически необходимо применять различные маркеры, а также параллельно прогнозировать горизонтальное смещение горных пород в развале горной массы по зависимостям от геологических данных и характеристика трещиноватости горных пород.

При прогнозировании величины горизонтального смещения горных пород необходимо учитывать как влияние параметров буровзрывных работ, так и геологические характеристики горных пород. Мы считаем, что на величину смещения горных пород влияют приблизительно в равной степени параметры буровзрывных работ, геологические и геомеханические характеристики горных пород.

### **Список литературы / References**

1. Kuzmin E.V., Uzbekova A.R. Rating classifications of rock massifs and their practical application. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005;(5):181–185.  
Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2005;(5):181–185. (In Russ.)
2. Онуприенко В.С., Еременко А.А., Шапошник Ю.Н., Копытов А.И. Выбор типов и параметров крепей в условиях подземной отработки апатит-нефелиновых месторождений. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2023;(2):56–70. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2023-2-56-70>  
Onuprienko V.S., Eremenko A.A., Shaposhnik Yu.N., Kopytov A.I. Selection of types and parameters of supports in the conditions of underground mining of apatite-nepheline deposits. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2023;(2):56–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2023-2-56-70>
3. Deere D.U., Hendron A.J., Patton F.D., Cording E.J. Design of surface and near surface construction in rock. In: *Fairhurst C. (ed.) Failure and Breakage of Rock: Proceedings of 8<sup>th</sup> US Symposium of Rock Mechanics*. New York: AIME; 1967, pp. 237–302.
4. Deere D.U., Miller R.P. *Engineering classification and index properties for intact rock*. Technical Report No. AFNL-TR-65-116. New Mexico: Air Force Weapon Laboratory; 1966. 300 p.
5. Deere D.U., Deere D.W. The rock quality designation (RQD), index in practice. In: *Kirkaldie L (ed.) Rock classification systems for engineering purposes*. Philadelphia, PA: ASTM; 1988, pp. 91–101.
6. Priest S.D., Hudson J.A. Discontinuity spacings in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 1976;13(5):135–148. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(76\)90818-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(76)90818-4)
7. Niu G., He X., Xu H., Dai S. Development of rock classification systems: A comprehensive review with emphasis on artificial intelligence techniques. *Eng*. 2024;5(1):217–245. <https://doi.org/10.3390/eng5010012>
8. Palmstrom A. The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of rock jointing. In: . New Delhi; 1982. Vol. 2, pp. V.221–V.228.
9. Bieniawski Z.T. *Engineering rock mass classification: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. John Wiley & Sons, Inc.; 1989. 251 p.

10. Gardner W.S. Design of drilled piers in the Atlantic piedmont. In: Smith R.E. (ed.) *Foundations and excavations in decomposed rock of the piedmont province*. Reston: ASCE; 1987. Vol. 9, pp. 62–86.
11. Barton N. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2002;39(2):185–216. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00011-4)
12. Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*. 1974;6(4):189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
13. Акматов Д.Ж., Маневич А.И., Татаринов В.Н., Шевчук Р.В., Забродин С.М. Оценка устойчивости породного массива в районе подземной исследовательской лаборатории (Нижнеканский массив, участок Енисейский). *Записки Горного института*. 2024;266:167–178. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16038> (дата обращения: 11.10.2025).  
Akmатов D.Z., Manevich A.I., Tatarinov V.N., Shevchuk R.V., Zabrodin S.M. Assessment of rock massif sustainability in the area of the underground research laboratory (Nizhnekanskii Massif, Enisei site). *Journal of Mining Institute*. 2024;266:167–178. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16038> (accessed: 11.10.2025).
14. Chatziangelou M., Christaras B. A geological classification of rock mass quality and blast ability for widely spaced formations. *Journal of Geological Resource and Engineering*. 2016;4:160–174 <https://doi.org/10.17265/2328-2193/2016.04.002>
15. Junaid M., Abdullah R.A., Sa'ari R., Shah K.S., Ullah R. A comparative study of the influence of volumetric joint counts (Jv) and resistivity on rock quality designation (RQD) using multiple linear regression. *Pure and Applied Geophysics*. 2023;180(6):2351–2368. <https://doi.org/10.1007/s00024-023-03260-8>
16. Некрасов А. В., Ческидов В. В., Некрасова А. Ю. Анализ зависимостей смещения горной массы от применяемых параметров буровзрывных работ и геологических характеристик горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(1):80–99. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2025\\_1\\_0\\_80](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_1_0_80)  
Nekrasov A.V., Cheskidov V.V., Nekrasova A.Yu. Analysis of displacements as function of drilling and blasting parameters and geological characteristics of rocks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(1):80–99
17. Onsel I.E., Ozturk C.A., Ozkan M., Nasuf S.E. Software for RQD and rock mass evaluation. In: 45<sup>th</sup> US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, CA, United States, 26–29 June 2011.

**Информация об авторах**

**Некрасов Андрей Владимирович** – аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Горный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0007-9614-6440>; e-mail: [m2311920@edu.misis.ru](mailto:m2311920@edu.misis.ru)

**Ческидов Василий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, Горный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-6165-5439>; e-mail: [vcheskidov@misis.ru](mailto:vcheskidov@misis.ru)

**Некрасова Алена Юрьевна** – аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Горный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0003-5459-7316>; e-mail: [m2400143@edu.misis.ru](mailto:m2400143@edu.misis.ru)

**Information about the authors**

**Andrey V. Nekrasov** – Postgraduate Student, Department of Geological and Surveying Engineering, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0007-9614-6440>; e-mail: [m2311920@edu.misis.ru](mailto:m2311920@edu.misis.ru)

**Vasilii V. Cheskidov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6165-5439>; e-mail: [vcheskidov@misis.ru](mailto:vcheskidov@misis.ru)

**Alena Yu. Nekrasova** – Postgraduate Student, Department of Geological and Surveying Engineering, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0003-5459-7316>; e-mail: [m2400143@edu.misis.ru](mailto:m2400143@edu.misis.ru)

**Article info**

Received: 16.10.2025

Revised: 16.12.2025

Accepted: 26.12.2025

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 16.10.2025

Поступила после рецензирования: 16.12.2025

Принята к публикации: 26.12.2025