

УДК 53.082.7: 549.091.5: 552.323.6

**А.В. Подгаецкий**

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВ КИМБЕРЛИТОВ**

*На примерах кимберлитов и вмещающих пород трубок Нюрбинская и Удачная (Якутия) анализируется влияние минерального состава на петрофизические и прочностные свойства пород. Установлен характер изменения этих параметров в зависимости от содержания главных породообразующих минералов: серпентина, кальцита, доломита и кварца.*

*Ключевые слова: горная порода, выветривание пород, минералообразование, алмазоносные породы, добыча.*

**Ш**ирокий диапазон изменения физико-механических свойств (ФМС) горных пород является одним из факторов, осложняющих основные технологические процессы при разработке отечественных месторождений кимберлитов. Научное прогнозирование физико-технических условий строительства карьеров и подземного освоения месторождений должно быть основано на изучении природы прочности как самих кимберлитов, так и вмещающих горных пород.

Физико-механические и прочностные свойства во многом определяются типом структурных связей в породе, которые, в свою очередь, формируются в зависимости от минералогического, химического и гранулометрического составов. В табл. 1 приведены основные факторы, влияющие на формирование петрофизических свойств горных пород.

Для алмазоносных пород особенно характерна широкая изменчивость состава и свойств в результате постмагматического преобразования. Происходящие при гипергенных изменениях и выветривании преобразования минерального состава алмазоносных

пород кимберлитовых трубок и их структурно-тектоническая перестройка приводит к резкому колебанию их прочностных характеристик

Известно два типа изменчивости с глубиной: стационарная и нестационарная. Нестационарные изменения характерны для верхней зоны современного выветривания пород, где наблюдаются наибольшие вариации прочности и плотности. Для кимберлитовых трубок такие зоны во многом совпадают с глубиной оптимального ведения открытых горных работ (до 500 м). Ниже располагается зона пород, изменчивость свойств которых имеет более или менее стационарный характер. Применительно к горным работам — это область подземного способа добычи.

Как показывают наши исследования и литературные данные, даже одноименные литологические типы пород имеют значительные колебания состава основной массы, цементирующего материала и типа цементации. Указанный фактор является причиной изменчивости ФМС в массиве, как по площади распространения, так и по глубине залегания рудного тела. Так, приведенные в табл. 2 данные о фи-

зических свойствах песчаников с различным составом цемента, показывают, что только различия в составе цементирующей массы могут приводить к изменению ряда физических параметров в 1,5—2,0 раза. Крупность минеральных зерен также оказывает существенное влияние на свойства пород.

Особенности строения диатрем и неравномерность протекания в них процессов вторичного минералообразования приводит к образованию в объеме обрабатываемого рудного массива зон, в которых присутствуют алмазоносные породы различного типа, отличающиеся не только по алмазности, но и по текстурно-структурным, минералогическим и петрогеохимическим характеристикам.

По виду структурных связей все породы делятся на два класса. Породы с жесткими структурными связями характеризуются самыми высокими прочностными показателями. Этот класс объединяет в первую очередь магматические горные породы. Из осадочных пород в него входят цементированные разности: гравелиты, песчаники и алевролиты. Среди алмазоносных пород к ним можно отнести породы глубоких горизонтов: порфиновые кимберлиты, слабоизмененные автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) и др.

Породы без жестких структурных связей, такие как современные делювиально-аллювиальные отложения, представлены глинами, суглинками, песками и галечниками. Среди алмазоносных пород по своим свойствам к ним близки породы, слагающие область коры выветривания кимберлитовых трубок, особенно с высоким содержанием глинистых минералов. Данные табл. 3 на примере осадочных пород показывают, насколько велики различия ФМС пород с различным типом структурных

связей. Поэтому диагностику разновидностей кимберлитов целесообразно корректировать в процессе отработки каждого участка месторождения.

Комплексное изучение минерального состава и физических свойств пород по разрезу трубки Нюрбинская (Якутия) позволили проследить последовательность изменения с глубиной состава и некоторых физических свойств кимберлитов указанной трубки. В частности, проанализирована связь крупности минеральных зерен с глубиной залегания (табл. 4) и ее влияние на некоторые физические характеристики пород (рис. 1)

Зависимость скорости прохождения продольных волн от содержания серпентина и кальцита, главных породообразующих минералов, приведена на рис 2. По величине угла наклона графика для серпентина можно сделать вывод о преобладающем влиянии

Изменчивость состава не только кимберлитов, но и вмещающих пород следует учитывать при проектировании схем вскрытия рудных тел. Для этой цели проведен анализ состава пород вмещающих кимберлиты трубки Удачная по геологическому разрезу проектируемого подземного ствола. Целью работы было связать результаты определения прочностных характеристик проб с их фазовым составом.

По литологическому описанию породы представлены известняками, доломитами и их переслаивающимися разностями. В «чистом» виде известняки и доломиты в разрезе встречаются редко. В табл. 5 приведены данные определения минерального состава известняков в интервале глубин 600—900 м. по скважине КСС-3.

Видно, что в изученном интервале происходит последовательное замещение доломита кальцитом. Учитывая различия физических свойств указанных минералов (табл. 6):

Таблица 1

**Формирования петрофизических свойств кимберлитов**

Стадии	Определяющие факторы	Свойства горных пород
Магматическая	Геотектонический режим, температурный режим, геохимические процессы	Исходный минеральный состав, литотипы, первичные петрофизические свойства, структура и текстура
Постмагматическая	Метаморфические и гипергенные процессы в зоне выветривания, геотектонический режим в постинверсионный период	Степень вторичных преобразований, физические и прочностные свойства пород, формирование геотектонических зон, разрывных нарушений и тектонической трещиноватости пород,
Техногенез	Техногенное воздействие на геологическую среду при разработке месторождения	Степень нарушенности массива, физико-механические свойства пород

Таблица 2

**Физико-механические свойства вскрышных пород [1]**

Наименование породы	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Пористость, %	Прочность на сжатие, кгс/м <sup>2</sup>	Модуль упругости, кгс/см <sup>2</sup> × 10 <sup>-5</sup>	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент сцепления, кгс/см	Коэффициент крепости (по Протодьяконову)
Песчаник крупнозернистый с карбонатным цементом	2,59—2,65	0,2—0,6	4,2—6,4	900—1500	2,94—5,16	35—38	190—207	9—15
Песчаник крупнозернистый с гидрослюдистым цементом	2,4—2,62	0,6—0,8	4,7—6,1	500—800	2,9—3,0	32—35	120—140	5—8
Песчаник среднезернистый	2,52—2,66	0,5—1,2	3,3—5,0	540—1300	2,55—2,92	36—38	210—240	5—13
Песчаник мелкозернистый	2,60—2,62	0,5—0,6	3,1—4,6	800—1100	2,8—2,9	38—40	160	8—11

Таблица 3

**Физико-механические свойства пород с различным типом структурных связей (по [1])**

Порода	Тип структурных связей	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Влажность, %	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа
пески	без жестких структурных связей	1,94	36,0	13,1	25	0,066
глины		2,0	37,76	20,6	16	0,15
гравелиты	с жесткими структурными связями	2,5	6,2	0,9	31	10,0
Андезитовые порфириты		2,58	6,29	1,06	32	22,72

Таблица 4

**Структура кимберлитовых пород**

Глубина, м	Крупность минеральных зерен, мм					Средний размер зерен
	0,05—0,10 %	0,10—0,20 %	0,20—0,40 %	0,40—0,80 %	0,80—1,60 %	
187	13	46	29	8	2	
241	6	52	27	10	3	0,15
279	30	40	21	7	2	0,12
457	0	21	57	20	1	0,24
472	41	38	13	5	1	0,15
507	67	0	0	0	33	0,16
514	28	40	23	6	2	0,11
522	40	35	17	5	2	0,09
587	44	36	14	5	0	0,08

Таблица 5

**Состав вмещающих пород трубки Удачная по скважине КСС-3**

№	Глубина, м	Наименование пород	Фазовый состав (породообразующие минералы, в % на кристаллическую фазу)	
			кальцит	доломит
1	644	известняк доломитистый	4,2	95,8
2	745	то же	19,6	80,4
3	773	то же	5,0	95,0
4	822	известняк	32,0	68,0
5	872	то же	98,0	2,0
6	923	то же	99,0	1,0

Таблица 6

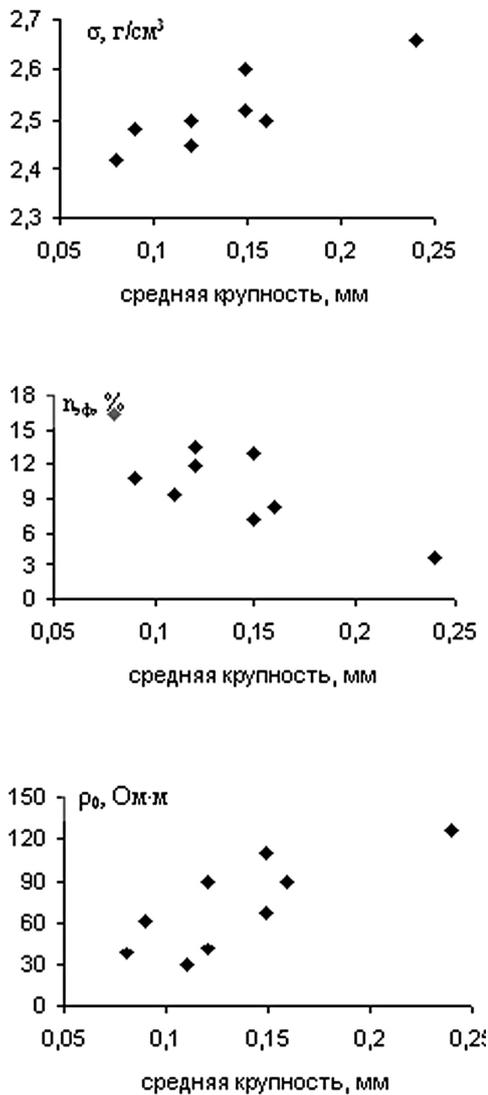
**Физические свойства доломита и кальцита**

Минерал	Твердость	$\sigma_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_p$ , кг/см <sup>2</sup>
Доломит	4	900	110
Кальцит	3	160	40

Таблица 7

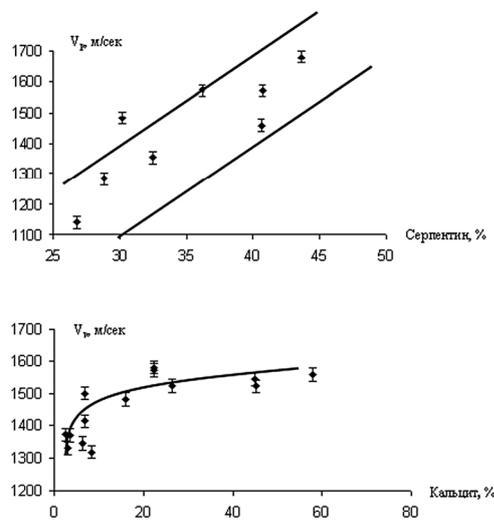
**Физико-механические свойства пород верхнекембрийского возраста по разрезу скважины КСС-3 трубки Удачная (средние значения) [2]**

Параметры	Известняки	Переслаивание известняков и доломитов	Доломиты
Плотность, кг/дм <sup>3</sup>	2542	2557	2582
Пористость, %	12,53	8,64	9,83
Скорость волны, м/с	5076	5212	5413
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	35,51	41,28	40,7
Предел прочности растяжение, МПа	4,41	4,64	4,88
Угол внутреннего трения, $\phi$ , град	30,68	30,0	29,98
Предел прочности на сдвиг при $\phi=45^\circ$ , МПа	13,91	21,16	26,69
Сцепление, МПа	6,0	6,57	8,69



**Рис. 1. Влияние крупности минеральных зерен на петрофизические характеристики кимберлитов трубки Ньюбинская:**  $\sigma$  — удельный вес,  $n_{эф}$  — эффективная пористость,  $\rho_0$  — удельное электрическое сопротивление на постоянном токе)

можно прогнозировать, что увеличение доли кальцита приводит к снижению прочности пород.



**Рис. 2. Влияние структуры и минерального состава кимберлитов трубки Ньюбинская на скорость распространения продольных волн**

Действительно, анализ ФМС пород по разрезу показывает, что плотность, прочностные характеристики, скорость волны в доломитах, как правило, превышают аналогичные показатели известняков, в составе которых преобладает кальцит (табл. 7).

Еще одним минералом, присутствие которого существенно влияет на свойства по разрезу трубки Удачная, является кварц. В табл. 8 приведены данные повышения пределов прочности известняков, в составе которых увеличивается содержание кварца.

Как видно, присутствие кварца повышает предел прочности известняков на сжатие, делая его по этому показателю близким к доломиту. Одновременно повышается хрупкость породы. Поэтому, если в целом известняки имеют коэффициент крепости проф. М.М. Протодьяконова в диапазоне 1—5, а доломиты — 6—8 и выше, то у окремненных

Таблица 8

**Средние значения пределов прочности вмещающих пород трубки Удачная [2]**

Порода	$\sigma_{сж}$	$\sigma_p$	Коэффициент хрупкости $K_{хр} = \sigma_{сж} / \sigma_p$
Известняк	62,62	4,05	15
Доломитистый известняк	74,49	3,80	20
Известняк окремненный	80,11	3,90	21
Известняк доломитистый окремненный	86,53	4,00	22
Доломит опесчаненный	82,66	4,70	18

известняков этот коэффициент 7 и более.

**Выводы**

Проведен цикл исследований по изучению изменения физико-механических свойств алмазонасных пород в зависимости от минерального состава и структурно-текстурных особенностей и показано, что прочностные свойства геологического разреза трубки Нюрбинская и проектируемого подземного ствола трубки Удачная изменяются в зависимости от содержания главных породообразующих минера-

лов: серпентина, кальцита, доломита и кварца.

Накопление данных о соотношении минерального состава и физических свойствах горных пород имеет конечной целью решение такой фундаментальной задачи как раскрытие природы прочности горных пород. Развитие таких исследований в качестве самостоятельного направления физики горных пород позволит оказывать целенаправленное влияние на показатели производственных процессов с целью улучшения качества горных работ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ольховатенко В.Е., Кожухарь Т.А. Закономерности формирования физико-механических свойств горных пород Огоджинского угольного месторождения Амурской области при литогенезе. Томск: Печатная мануфактура, 2004. — 108 с.

2. Отчет о результатах бурения контрольно-стволовой скважины КСС-3 с комплексом специальных исследований для вертикального ствола подземного рудника «Удачный» п. Айхал, 2004 г.

ГИАБ

**КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Подгаецкий А.В. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр РАН, podgan@mail.ru.

