

УДК 53.082.7: 549.091.5: 552.323.6

А.В. Подгаецкий

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ФИЗИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ КИМБЕРЛИТОВ**

Семинар № 4

Проводимые на протяжении последних лет при проектировании систем разработки месторождений полезных ископаемых и конструировании горных машин исследования свойств горных пород показали, что для этой цели более целесообразно использовать не общий интегральный показатель, а несколько физико-технических параметров горных пород, оказывающих совместное влияние на определённый производственный процесс [4, 5].

В настоящее время наиболее перспективным направлением для решения задач, связанных с интеграцией разнообразных данных на всех этапах функционирования горного предприятия является использование геоинформационных систем (ГИС) [10]. В ГИС осуществляется комплексная обработка и синтез большого числа разнообразных данных, методов анализа и принятия решений. Результатом обработки информации в большинстве ГИС является построение пространственно-распределённых моделей и разрезов, на основе которых вырабатываются алгоритмы управления, в частности, выбор рационального направления вскрытия и отработки месторождения. Созданные модели характеризуются наглядностью и позволяют осуществить технико-экономическую оценку альтернативных вариантов (стратегий) развития горных

работ с учетом всех значимых факторов [9, 10].

Изучение закономерностей влияния физико-технических характеристик горных пород на показатели производственных процессов, реализуемых в естественных условиях горных массивов, так же как и формирование баз данных, достаточных для создания ГИС, требует обработки больших совокупностей данных [3, 6].

Проведение комплексного изучения кимберлитов отечественных месторождений показало, что для успешной работы в указанном направлении требуется два основных условия. **Первое** – возможность массового испытания пород не по одному-двум показателям, а на порядок больше, по 10–20. Этому условию отвечает предлагаемый комплекс аналитических методов для экспресс-анализа кимберлитов (табл. 1).

Основу предлагаемого комплекса физико-минералогических исследований кимберлитов и родственных им пород составляют две основные группы аналитических методов (табл. 1). К одной из них относятся методы фазового и автоматического анализа оптических изображений (ААИ), применяемые для изучения минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород и проводимые в тесном согласовании с измерениями петрофизических характеристик последних, на одних и тех же пробах,

Таблица 1

Аналитические методы и определяемые параметры при комплексном изучении алмазоносных пород

Параметры, характеризующие кимберлиты	Основной метод определения	Область применения
Минеральный состав	РФА, петрография, ИК-спектроскопия	Прогнозно-поисковые работы, выбор технологий вскрытия, отработки и обогащения полезных ископаемых, а также утилизации отходов
Элементный состав	РФСА, аналитическая химия	Поиск полезных ископаемых, разделение руд по технологическим свойствам
Физические и сейсмоакустические свойства	Лабораторные и полевые экспрессные измерения	Поиск кимберлитовых трубок, прогноз технологических свойств кимберлитов для выбора способов отработки и обогащения
Структурно-текстурные характеристики пород	Автоматический анализ изображений	Диагностика кимберлитовых пород и определение степени их метаморфических преобразований
Кристаллохимические и морфометрические особенности индикаторных минералов	РСА, ИКС, ЯГРС	Поиск источников кимберлитов

сразу после измерения физических параметров в полевых или лабораторных условиях. Другая группа – это методы изучения кристаллохимических и структурных особенностей индикаторных минералов.

Второе основное условие – заключается в том, что независимо от исполнителя и места исследования, полученные результаты должны содержать одинаковый объем информации и быть доступными для быстрой обработки.

Для выполнения второго условия необходима разработка **унифицированного электронного формата данных**, позволяющего применять компьютерные технологии для обобщения и обработки больших массивов информации от разных источников.

Реализация такого формата данных наиболее целесообразна в виде **паспорта алмазоносной породы**.

Предлагаемая паспортизация пород по физическим, структурным и минералогическим характеристикам преследует цель обеспечения ком-

пактной записи указанных параметров с высокой степенью точности и в объеме, позволяющем обрабатывать, систематизировать и классифицировать полученные данные методами вычислительной техники.

Преимущество предлагаемой паспортизации алмазоносных пород по физико-минералогическим характеристикам заключается в том, что она включает ряд показателей, используемых как при описании пород в геологической практике, так и при их оценке в качестве объекта горного производства. Поэтому, информация, получаемая при обработке данных, содержащихся в паспортах алмазоносных пород, предназначена для использования как при поисках на алмазы и оконтуривании перспективных площадей, так и для прогнозирования физических и технологических свойств кимберлитов при добыче и переработке.

Создание паспорта алмазоносной породы является продолжением разработки принципов описания горной

Таблица 2.

Формат физико-минералогического паспорта кимберлитов

01	02	03	04	05	06	07
Тип породы	Минеральный состав	Петрофизические характеристики	Структура и текстура, морфология	Элементный состав	Сейсмо - акустические свойства	Индикаторные минералы

породы, проведенной В.В.Ржевским совместно с Г.Я. Новиком [7, 8] для горного производства и Г.П. Кудрявцевой совместно с В.К. Гараниным [1, 2] для алмазной поисковой геологии

Дальнейшее развитие это направление работ получило в ИПКОН РАН при непосредственном участии автора. Основные результаты исследований представлены в данном докладе.

Известно, что кимберлитовые породы, слагающие подавляющее число известных трубок, подвержены интенсивной постмагматической переработке. До глубины 300–400 м неизменные кимберлиты встречаются чрезвычайно редко. Для постмагматических изменений кимберлитов характерно большое число вторичных минералов и значительное минералогическое разнообразие пород. Характер вторичной переработки и перечень главных постмагматических минералов меняется от трубки к трубке.

Паспорт алмазоносной горной породы (табл. 2) включает их петрографическое описание, состав породообразующих минералов и комплекс основных физических, химических и структурных параметров, достаточных для характеристики породы и записанных в виде цифрового кода.

Выбранные для записи в паспорте физические параметры пород относятся к категории основных и наиболее употребительных – так называемых базовых физико-технических показателей и параметров, которые в

значительной мере определяют технологию горного производства [7, 8], а так же определяют характеристики, используемые для диагностики и описания алмазоносных пород.

Для записи в цифровом виде каждый сегмент паспорта делится на группы с соответствующим цифровым обозначением в каждой. Разделение на группы отражает определенные пределы изменения параметра. Значительное влияние на всю совокупность состава и свойств кимберлитов оказывает их генезис и последовательность образования, отраженные в литологическом типе породы. Изученные кимберлиты по указанному признаку можно разделить на вулканогенно-осадочные, кимберлитовые брекчии, порфириновые кимберлиты и т. д. Запись в паспорте состоит из дроби, в числителе которой тип породы, а в знаменателе – глубина залегания в метрах.

На свойства пород наиболее существенно влияют преобладающие количественно породообразующие минералы. Соответственно, основные свойства кимберлитов будут определяться свойствами этих минералов, цифровые обозначения которых приводятся в отдельной таблице. Код в паспорте имеет вид дроби, в числителе которой цифровое обозначение минерала, а в знаменателе – процентное содержание. В результате этого состав любой породы может быть зашифрован своим набором цифр. Порядок шифрования следующий – вначале записывается код основного

330 **Паспорт кимберлитовой породы из трубки Нюрбинская (Якутия)**

01		02			03					04					
02	14	04	08	18	01	02	03	04	05	01	04	05	06	07	08
241	71,6	20,6	4,4	2,0	2,42	13,0	6,2	36	23	0,15	6	52	27	10	3

05										06	07
01	02	03	04	06	07	08	09			1231	03
41,06	0,43	4,25	6,71	23,73	6,97	0,00	0,84				

Паспорт кимберлитовой породы трубки Катока (Ангола)

01		02			03					04					
01	16	08	13	01	02	03	04	05	01	02	03	04	05	06	07
146,6	78,4	13,2	6,4	2,27	14,36	7,17	28	96	0,035	1	50	25	15	7	2

05										06	07	
01	02	03	04	05	06	07	08	09			809	08
77,61	0,22	5,74	1,51	0,41	5,36	1,21	1,03	1,69				

Таблица 3

Расшифровка содержания паспорта алмазоносной породы

№ пп	Сегмент паспорта	Трубка, глубина	
		Нюрбинская (Якутия), 241 м	Катока (Ангола), 146,6 м
1	Тип породы	автолитовая кимберлитовая брекчия	вулканогенно-осадочная порода
2	Минеральный состав, (главные минералы), %	серпентин 71,6 доломит 20,6 кварц 4,4 слюда 2,0	сапонит 78,4 кварц 13,2 полевые шпаты 6,4
3	Петрофизические характеристики	σ , г/см ³ = 2,42 $n_{эф}$, % = 13,0 W, % = 6,2 ρ_o , Ом·м = 36 χ , 10 ⁻⁵ ед.СИ = 23	σ , г/см ³ = 2,27 $n_{эф}$, % = 14,36 W, % = 7,17 ρ_o , Ом·м = 28 χ , 10 ⁻⁵ ед.СИ = 96

4	Распределение минеральных зерен по крупности	<u>средний размер</u> <u>0,15 мм</u> 0,04-0,08мм 6% 0,08-0,16мм 52% 0,16-0,32мм 27% 0,32-0,64мм 10% 0,64-1,28мм 3%	<u>средний размер</u> <u>0,035 мм</u> 0,01-0,02мм 1% 0,02-0,04мм 50% 0,04-0,08мм 25% 0,08-0,16мм 15% 0,16-0,32мм 7% 0,32-0,64мм 2%
5	Элементный состав, %	SiO ₂ 41,6 TiO ₂ 0,43 Al ₂ O ₃ 4,25 Σ Fe 6,71 MgO 23,73 CaO 6,97 Na ₂ O 0,00 K ₂ O 0,84	SiO ₂ 77,6 TiO ₂ 0,22 Al ₂ O ₃ 5,74 Σ Fe 0,41 MgO 5,36 CaO 1,21 Na ₂ O 1,03 K ₂ O 1,69
6	Сейсмо-акустические свойства, V _p , м/сек	1231	809
7	Индикаторные минералы	пикроильменит	хромшпинелиды

минерала, слагающего породу, затем коды остальных минералов, в порядке убывания их содержания. Количество породообразующих минералов, приводимых в паспорте, должно в сумме составлять 80-90 % состава породы. Обычно это от 2 до 8 минеральных фаз. Специфика описания алмазоносных пород состоит в том, что для этого используется такой показатель как содержание индикаторных минералов. Поэтому в той же таблице приведены обозначения минералов-спутников алмаза, используемых в качестве индикаторных [1, 6].

Для занесения в паспорт значения петрофизических параметров они также кодируются в виде дроби, числитель которой – цифровое обозначение параметра, а знаменатель – его численное значение в соответствующих единицах. Из структурно-текстурных характеристик пород автором использовался преимущественно такой показатель как крупность минеральных зерен. Крупность зерен приводится в мм, а распределение – в %. Весь диапазон значений крупности разбивается на группы таким образом, что большему значению соответствует большее цифровое обозначение группы. Код дается в виде дроби: в числителе – обозначение группы крупности, в знаменателе – ее количество. Значения скорости продольных волн в разделе сейсмоакустических свойств паспорта кимберлитов приводятся в м/сек.

В качестве примера приведены полные формы паспортов для двух типов кимберлитовых пород месторождений Якутии и Анголы, контрастных по минеральному составу и физическим свойствам. В табл. 3 дана расшифровка содержащейся в них информации, позволяющей в экспресс-режиме проводить сравнительный анализ изученных проб и накопление аналитических данных.

Паспортная запись позволяет быстро и наглядно показать и проанализировать сходство и различия в составе и свойствах двух или целой серии образцов кимберлитов. При этом сразу становятся видны различия типов пород. В первом случае основной минерал серпентин, во втором – сапонит. Отсюда различия в плотности, дисперсности минеральных зерен, в химическом составе и остальных характеристиках. Из таблицы видно, что основу паспортных данных составляют параметры прямо или косвенно влияющие на относительную трудность разрушения горных пород, и используемые для расчета основных технологических свойств горных пород: буримости, взрываемости, экскавируемости, трудности транспортирования, угла наклона борта карьера и т. д.

Выводы

- Метод комплексного анализа и паспортизации кимберлитов создает основу для интенсификации и стандартизации физико-минералогических исследований алмазоносных пород, их описания и классификации.

- Для реализации метода разработан унифицированный электронный формат данных для компактной записи минералогических, геологических, геофизических и геохимических данных о кимберлитах с целью достижения информационной сопоставимости результатов измерений и формирования межлабораторных баз данных о кимберлитовых трубках алмазоносных провинций.

- Предложенный методический подход создаёт основу для системного формирования банка данных о составе и свойствах алмазоносного сырья и рудных тел, позволяя проводить исследования, оперируя с большими выборками качественных и количественных параметров и применяя статистические методы обработки инфор-

мации. Разработка цифровой записи состава и свойств, слагающих массив пород, позволила давать им количественную характеристику и учитывать в качестве входных воздействий и параметров при компьютерном моделировании геологических структур и объектов горной технологии.

• Получаемая в результате комплексного анализа совокупность данных, обработанная с применением ГИС, позволит получить детализированную модель кимберлитовых тел для выбора обоснованных технологических решений по их обработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатиков О.А. и др. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, 2001, 310 с
2. Кудрявцева Г.П., Вержак В.В., Гаранин В. К., Тараненко В.И., Черный С.Д. Повышение эффективности минералогических методов при проведении поисков алмазных месторождений. // Проблемы поисковой геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: изд. ВГУ, 2001. – С. 505-517.
3. Кудрявцева Г.П., Подгаецкий А.В., Гаранин К.В., Гаранин В.К., Аполлонов В.Н., Бондаренко А.Т., Бушуева Е.Б., Вержак В.В., Веричев Е.М. Минеральный состав и петрофизические свойства кимберлитов и родственных им пород Зимнего Берега // Известия вузов, геология и разведка, 2003, с. 29 – 34.
4. 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.
5. Подгаецкий А.В. Взаимосвязь минерального состава и петрофизических свойств кимберлитовых брекчий трубки Ботубинская (Якутия) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003, № 9. – С. 201-204.
6. Подвысоцкий В.Т., Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. // Морфологические особенности индикаторных минералов из осадочных коллекторов и россыпей алмазов различных генетических типов Сибирской платформы. Мирный, 2000. 72 с.
7. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. – М.: Недра, 1975. – 212 с.
8. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород – М.: Недра, 1973 – 286 с.
9. Шек В.М., Сученко В.Н. Принципы создания и использования цифровой модели месторождения // ГИАБ, 2005, № 11. – С.104-109.
10. Ярошук О.Н., Хабарова Е.И., Светлосанов В.А. Потенциал использования ГИС- технологии для выбора рационального направления рекультивации на углепромышленных территориях // ГИАБ, 2006, № 12. – С.231-233. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Подгаецкий А.В. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. С.А. Гончаров.

