© В.А. Дунаев, С.С. Серый,
А.В. Герасимов,
С.Х. Абсатаров, 2006

УДК 551.73:084.3

*В.А. Дунаев, С.С. Серый, А.В. Герасимов,
С.Х. Абсатаров*

МЕТОДИКА РАЙОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПО БЛОЧНОСТИ И ВЗРЫВАЕМОСТИ ПОРОД ДОКЕМБРИЙСКОГО ФУНДАМЕНТА

Семинар № 1

В настоящее время основной объем добычи железных руд в России и соседней Украине приходится на железистые кварциты, залегающие в докембрийском фундаменте Русской платформы. Выемка железистых кварцитов осуществляется преимущественно карьерами с предварительным рыхлением горной массы буровзрывным способом. Известно, что сопротивление породного массива взрывному разрушению зависит от трещиноватости, или блочности, массива и прочности (крепости) слагающих его пород.

Многолетние исследования авторов на эксплуатируемых месторождениях железистых кварцитов бассейна КМА и северо-западного региона нашей страны показали, что их районирование по взрываемости пород может быть выполнено на основе геолого-структурного картирования действующих карьеров с привлечением материалов детальной разведки месторождений. При этом прочность пород определяется их принадлежностью к тому или иному инженерно-геоло-гическому литотипу, а в пределах одного литотипа она учитывается в градации пород по их блочности.

В сложноскладчатых массивах докембрийских метаморфических пород блочность создана главным образом трещинами трех взаимно ортогональных систем (М – по слоистости пород, N - поперечной их простиранию, К - субпараллельной простиранию пород и субперпендикулярной их слоистости). Эти системы возникли под влиянием региональных тектонических напряжений по завершению складчатости, когда породы перешли из пластического состояния в хрупкое. В дальнейшем блочная структура таких массивов существенно не изменялась, поскольку более поздние трещины развивались спорадически, либо локализовались в узких зонах разрывных нарушений, зачастую совпадая по ориентировке с трещинами системы М.

С учетом сказанного выше при натурных исследованиях трещиноватости необходимо и достаточно измерить ориентировку трещин различных систем и расстояние между трещинами в каждой системе. При этом в полевом журнале следует обязательно указывать индекс системы, к которой относится измеренная трещина (М, N, К), что в дальнейшем облегчает обработку данных полевых измерений и позволяет избежать ошибок в интерпретации полученных результатов.

Определяющие сопротивление взрывному разрушению параметры докембрийских метаморфических пород (блочность и прочность) обусловлены одними и теми же факторами (литоло-

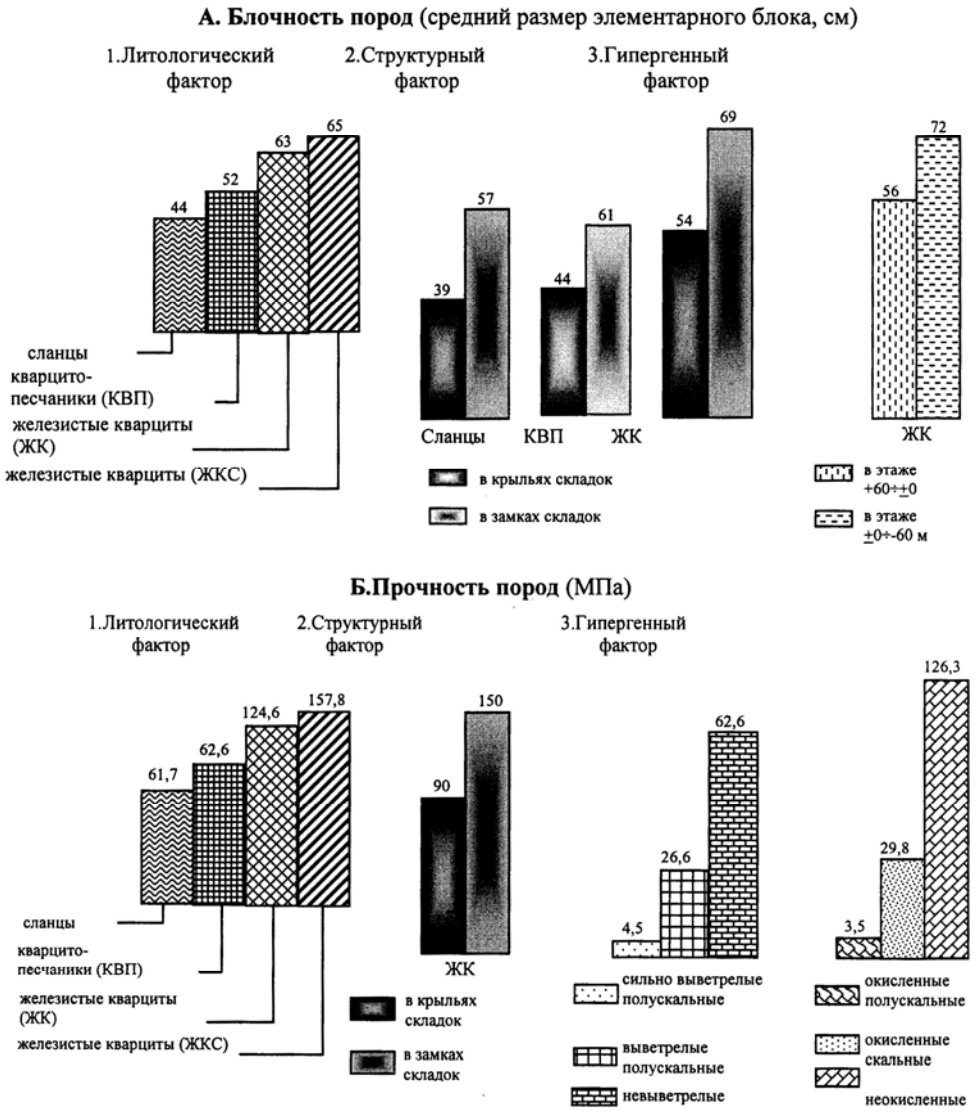

Рис. 1. Влияние геологических факторов на изменение блочности и прочности пород Лебединского месторождения

гическим, структурным и гипергенным) и согласованно изменяются под их влиянием, обнаруживая прямую корреляцию между собой. Покажем это на примере Лебединского месторождения КМА. Анализ диаграмм, приведенных на рис. 1, убеждает в следующем.

Во-первых, литологический фактор проявляется в закономерном увеличении блочности и прочности метаморфических пород в такой последовательности:

сланцы – кварцитопесчаники – железистые кварциты рудные – железистые кварциты малорудные.

Во-вторых, для всех типов пород характерно увеличение их блочности и прочности по направлению от крыльев к замкам складок. В этом феномене отразилось влияние структурного фактора. Объяснение его происхождения дано в работе [1].

В-третьих, гипергенный фактор обусловил увеличение блочности и прочности пород с глубиной. Физическое выветривание и гипергенная разгрузка докембрийского массива привели к указанному направленному изменению блочности, а химическое выветривание – к изменению прочности пород.

Прямая связь блочности и крепости докембрийских метаморфических пород характерна и для месторождений железистых кварцитов Криворожского бассейна. Например, в опубикованной классификации пород по взрываемости на карьере Южного ГОКа [3] породы (включая скальные выветрелые их разности) с коэффициентом крепости 6-10, 10-12,12-16,16-18 и 18-20 имеют коэффициент трещиноватости соответственно 1,25-1,3, 1,2-1,25, 1,12-1,15 и 1,1-1,12. Здесь коэффициент трещиноватости – относительная (в %) площадь трещин на единицу исследуемой площади обнажения, т.е. чем больше этот коэффициент, тем выше интенсивность трещиноватости и меньше блочность пород.

Из установленной связи блочности и крепости пород в массивах месторождений железистых кварцитов следуют два важных вывода:

1) при условии хорошей изученности массива по трещиноватости (блочности) пород их крепость (в пределах инженерно-геологического литотипа) автоматически учитывается в классификации и схеме районирования массива по блочности пород, т.е. эти классификация и схема адекватно отражают градацию категорий взрываемости пород и размещение их в карьерном поле. Тем самым удается избежать большого объема дорогостоящих физико-механических испытаний образцов пород, которые необходимо было бы выполнить для достоверного районирования массива по крепости пород, учитывая ее высокую изменчивость внутри литотипа.

2) карьеры, разрабатывающие месторождения железистых кварцитов, являются благоприятными объектами для внедрения автоматизированной системы определения взрываемости пород в процессе бурения по удельной энергоемкости шарошечного бурения, так как этот показатель тесно коррелируется с крепостью пород [5], которая на месторождениях железистых кварцитов прямо связана с их блочностью. Применение такой системы позволит уточнять построенную по результатам натурных исследо-аний блочности массива схему районирования карьерного поля по взрываемости пород по мере накопления и обработки данных об удельной энергоемкости шарошечного бурения.

Общая методическая схема районирования карьерного поля по взрываемости пород выглядит следующим образом (рис. 2). На первом этапе она предусматривает детальное геолого-структурное картирование и съемку трещиноватости с составлением по их результатам сводного геолого-структурного плана карьера, а на втором - разработку классификации по блочности и построение карты блочности массива, выделение инженерно-геологических литотипов, разработку классификации по взрываемости пород и составление схемы

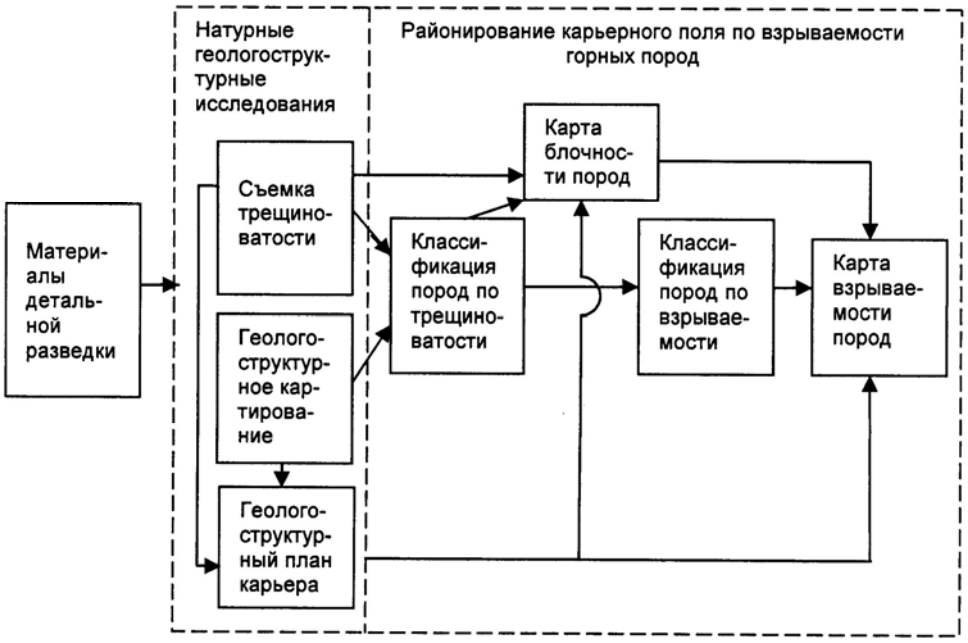

Рис. 2. Схема районирования карьерного поля по блочности и взрываемости горных пород

районирования карьерного поля по этому параметру (карты взрываемости).

Рассмотрим реализацию предложенной методики на примере Лебединского месторождения КМА. Объем натурных наблюдений и измерений параметров трещиноватости пород в карьере по этому месторождению составил 36,4 км геологической документации уступов, 4390 измерений ориентировки трещин и около 20 тысяч измерений расстояний между трещинами.

Районирование карьерного поля по блочности горных пород выполнено на сводном геолого-структурном плане карьера. По частным измерениям расстояний между смежными трещинами одной системы рассчитан средний размер естественной отдельности (среднее значение расстояний между трещинами блокообразующих систем – M,N,K) в «физических» точках, положение которых определялось серединой структурно и литологически однородного интервала (станции наблюдений), задокументированного уступа карьера. Длина станции обычно 20, в редких случаях 40 м. Всего получено 625 пространственно распределенных по карьерному полю значений этого параметра.

Оконтуривание участков пород различной блочности осуществлялось путем увязки границ интервалов одной категории блочности между смежными задокументированными уступами. При этом учитывались факторы, влияющие на размер отдельности (минерально-петрографические типы пород и их инженерно-геоло-гические литотипы, оси складок, разрывные нарушения).

Критериальные значения среднего размера отдельности для различных категорий блочности пород взяты в соответствии с «Временной классификаци-

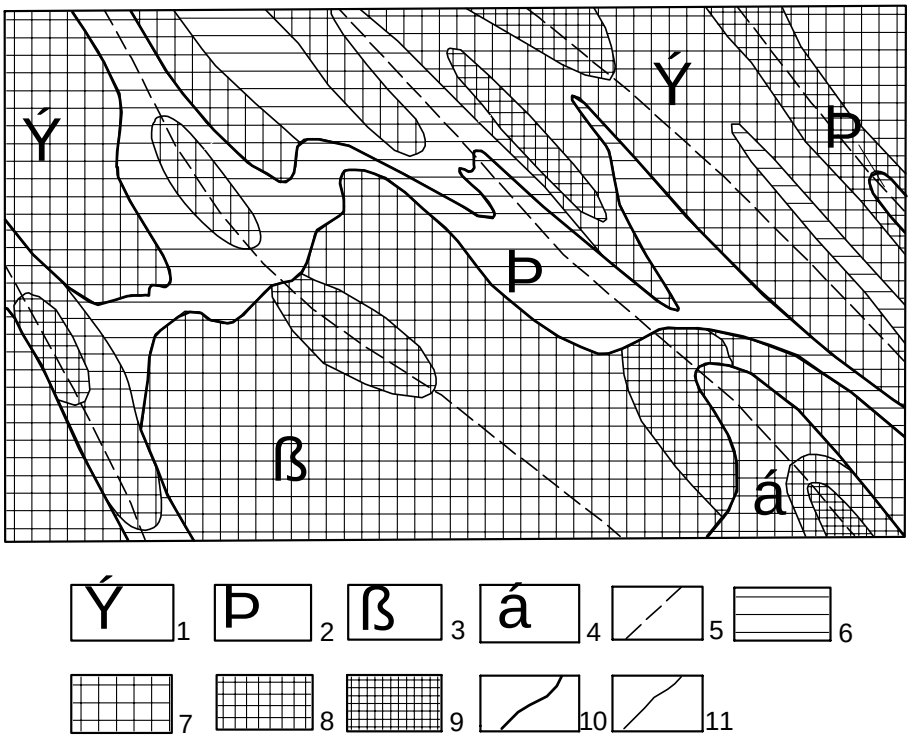

Рис. 3. Фрагмент карты блочности массива докембрийских пород Лебединского месторождения (юго-западная часть действующего карьера): *1-3* – породы коробковской свиты: железистые кварциты верхней (1) и нижней (3) железорудных подсвит, сланцы нижней сланцевой подсвиты (2); *4* – кварцитопесчаники стойленской свиты; *5* - оси складок; *6-9* – участки горных пород различных категорий трещиноватости (размер блока, м): 6 – II (0,1-0,5), *7* – IIIа (0,5-0,75), *8* – IIIб (0,75-1,0), *9* – IV (1,0-1,5), *10* – стратиграфические границы; *11* – границы между участками с различной блочностью пород

ей…» [2], в которой с целью более дифференцированной геометризации массива по степени трещиноватости пород наиболее распространенная на месторождении III категория была разделена на две подкатегории: III-а (0.5-0.75) и III-б (0.75-1.0 м).

Анализ составленной карты блочности докембрийских пород карьерного поля (рис. 3) показал, что в незатронутом выветриванием массиве участки пород различных категорий трещиноватости образуют чередующиеся между собой полосы и линзы шириной 30-80 м, вытянутые по простиранию складчатости. Участки пород III-б, IV и V категорий трещиноватости тяготеют к замковым частям складок.

Такая же позиция характерна для участков пород категории III-а в том случае, когда они на крыльях складок сменяются II категорией. В то же время линзы и полосы относительно крупноблочных пород указанных выше категорий по простиранию осей складок размещены прерывисто. Это не отрицает установленного факта укрупнения блока в направлении от крыльев к замкам складок, а свидетельствует о том, что степень такого укрупнения очень из-

менчива по прос-тиранию складок. Нередко величина изменения размера блока от крыльев к замкам складок находится внутри коридора критериальных значений для одной категории трещиноватости пород. Указанная изменчивость объ-ясняется дисгармоничным характером складчатости и пространственной изменчивостью вещественных и структурно-текстурных преобразований пород в период складкообразования.

Вследствие сказанного некорректно автоматически увеличивать категорию трещиноватости пород, залегающих в замках складок, относительно тех же пород, но расположенных на крыльях складок. Кроме того, установление точной позиции складок, особенно высоких (4-го и выше) порядков, в условиях напряженной дисгармоничной складчатости массива и отсутствия в разрезе слагающих его пород надежных маркирующих горизонтов - очень сложная задача. Поэтому установленную закономерность увеличения размера блока в замках складок для целей прогноза блочности пород следует использовать в разумных пределах, больше ориентируясь на массив фактических данных о блочности пород, систематически его пополняя и сгущая сеть точек натурных измерений этого параметра.

По величине площадей участков пород различной блочности установлено, что на Лебединском карьере преобладают крупноблочные породы III категории (63,1 %), преимущественно железистые кварциты (58 %), причем подкатегория III-а составляет 52,3 %, а подкатегория III-б - всего 10.8 %.

Весьма и исключительно крупно блочные породы (IV и V категории) составляют соответственно 1,0 и 0,1 %. Представлены они в основном магнетитовыми (щелочно-амфибол-магнетитовыми) и куммингтонит-магнетитовыми кварцитами плойчатой, волнисто-полосчатой, неяснополосчатой и массивной текстуры. Среднеблочные породы (II категория) составляют 34 %. Среди них преобладают железистые кварциты и сланцы. Мелкоблочные породы (I категории) распространены незначительно (1,8 %). Это в основном окисленные кварциты и сильно выветрелые сланцы. Какая-то часть мелкоблочных пород сопровождает разрывные нарушения, но ввиду небольшой мощности и прерывистости участков развития таких пород геометризовать их на карте не представляется возможным.

В основу классификации пород по взрываемости положены два критерия: принадлежность к определенному инженерно-геологическому литотипу и категория блочности (таблица).

По минерально-петрографическим особенностям, прочностным свойствам и своей позиции в массиве все скальные породы Лебединского месторождения разделены на 4 основных инженерно-геологических литотипа. Из них первые два слагают незатронутую выветриванием часть массива: 1 – неокисленные железистые кварциты (f = 8-20); 2 – сланцы и кварцитопесчаники (f = 5-8), а два других литотипа распространены в верхней подвергнутой выветриванию части массива: 3 – окисленные и полуокисленные железистые кварциты (f =2-8); 4 – выветрелые сланцы и кварцитопесчаники (f = 2-5).

Главные параметры взрывания (сетка скважин и удельный расход ВВ) для каждой категории взрываемости определены, исходя из многолетней практики буровзрывных работ на Лебединском карьере в породах, отнесенных

Классификация по взрываемости горных пород Лебединского месторождения

Категория взрываемости	Инженерно-геологические литотипы	Категория трещиноватости	Сетка скважин*, м		Удельный расход ВВ**, кг/м^3
			а	б	
1 – исключительно легковзрываемые	Выветрелые сланцы и кварцитопесчаники Окисленные железистые кварциты	I-II I	9	8	0,4-0,5
2 - очень легковзрываемые	Окисленные и полуокисленные железистые кварциты Невыветрелые кварцитопесчаники и сланцы	II II – III-а	8-7	7	0,5-0,6
3 - легковзрываемые	Неокисленные железистые кварциты Окисленные и полуокисленные железистые кварциты Невыветрелые кварцитопесчаники и сланцы	II III III-б - IV	7	6-7	0.6-0.8
4 - средневзрываемые	Неокисленные железистые кварциты	III-а	6	5-6	0.8-1.0
5 - трудновзрываемые		III-б	5.5	5.5	1.0-1.2
6 - очень трудновзрываемые		IV-V	5.0	5.0	1.2-1.4

Примечание: * расстояние: а – между рядами скважин, б – между скважинами в рядах.
** - для штатных ВВ.

авторами к той или иной категории взрываемости, при условии применения обычных скважинных зарядов диаметром 250 мм.

В соответствии с анизотропией разрабатываемого массива при ориентировке уступа карьера по простиранию пород расстояние между рядами скважин берется больше, чем между скважинами в ряду. При ориентировке уступов вкрест простиранию пород и при взрывании очень крупноблочных пород, имеющих обычно кубообразную форму, применяют квадратную сетку скважин.

В предложенной классификации выделено 6 категорий взрываемости пород: исключительно легко взрываемые, очень легко взрываемые, легковзрываемые, средневзрываемые, трудновзрываемые и очень трудновзрываемые. К категории средневзрываемых отнесены крупноблочные породы подкатегории III-а, а к трудновзрываемым - подкатегории III-б. Надо сказать, что при производстве буровзрывных работ на Лебединском карьере все неокисленные кварциты III категории трещиноватости относились к одной категории взрываемости.

Целесообразность указанного выше разделения обусловлена следующими обстоятельствами: широким распространением в карьерном поле пород III категории трещиноватости (63,1 %), достаточно четкой геометризацией на плане карьера составляющих ее подкатегорий (III- а и III- б)

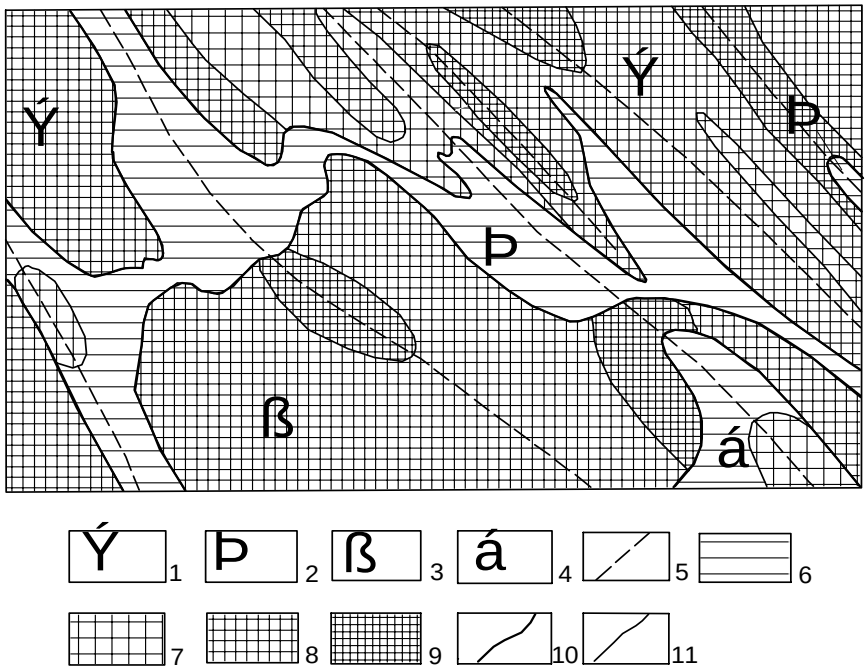

Рис.4. Фрагмент карты взрываемости массива докембрийских пород Лебединского месторождения (юго-западная часть действующего карьера): *1-3* – породы коробковской свиты: железистые кварциты верхней (1) и нижней (3) железорудных подсвит, сланцы нижней сланцевой подсвиты (2); *4* – кварцитопесчаники стойленской свиты; *5* - оси складок; *6-9* – участки горных пород различных категорий взрываемости: *6* – второй (очень легко взрываемые), *7* – третьей (легко взрываемые), *8* – четвертой (средневзрываемые), *9* – пятой (трудновзрываемые); *10* – стратиграфические границы; *11* – границы между участками с различной блочностью пород

и значимым различием их среднего размера естественной отдельности (соответственно 0.6 и 0.86 м), а, следовательно, возможностью более рационального распределения объемов буровзрывных работ в карьере при отработке крупноблочных железистых кварцитов.

Для внедрения в практику буровзрывных работ дифференцированного подхода к оценке взрываемости крупноблочных пород необходимы опытные работы с целью уточнения параметров взрывания средневзрываемых и трудновзрываемых пород.

Схема районирования карьерного поля по взрываемости пород (карта взрываемости) (рис. 4) строилась на основе аналогичной схемы по блочности пород с учетом распространения различных инженерно-геологи-ческих литотипов. На большей части площади, представленной наиболее распространенным литотипом (неокисленными железистыми кварцитами), обе эти схемы практически идентичны; только на схеме по взрываемости породы IV и V категории блочности объединены в одну (6) категорию по взрываемости.

Доля пород каждой категории в границах действующего карьера составляет примерно (в последовательности от первой до шестой категории): 8.2; 17.4; 14.9; 48.2; 9.8 и 1.5 %. Около 60 % площади разрабатываемого массива в Лебе-

динском карьере представлено крупноблочными породами от средней до очень трудной взрываемости при явном преобладании (48.2 %) средневзрываемых пород 4 категории.

Для поддержания карты взрываемости в актуальном состоянии необходимо по мере понижения горных работ подновлять геолого-структур-ный план карьера и на его основе корректировать границы пород различной категории взрываемости. Такая корректировка будет более надежной, если систематически осуществлять анализ условий и качества взрывания, и по его результатам проводить дополнительные натурные геологические наблюдения и измерения блочности пород.

Классификация пород по взрываемости и карта взрываемости карьерного поля являются основными документами типового проекта проведения буровзрывных работ на карьере. Наличие указанных документов позволяет автоматизировать процесс проектирования буровзрывных работ. Компьютерная технология этого процесса разработана и внедрена ФГУП ВИОГЕМ на Лебединском и Ковдорском ГОКах [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дунаев В.А., Серый С.С.* Трещиноватость метаморфитов курской серии в бассейне КМА. – «Известия ВУЗов. Геология и разведка», 2003, №12.
2. *Временная* классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве. Межведомственная комиссия по взрывному делу. Инф. вып. В-199.- М.:ИГД, 1968.
3. *Справочник* по буровзрывным работам / М.Ф. Друкованный, Л.В. Дубнов, Э.О. Миндели и др. - М.: Недра, 1983.
4. *Серый С.С., Герасимов А.В.* Информационная технология геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования буровзрывных работ на карьерах. – В кн.: Вопросы осушения и защиты от подтопления, горнопромышленная геология и специальные горные работы (материалы 8-го международного симпозиума, ч.1). – Белгород: ВИОГЕМ, 2005.
5. *Тангаев О.П.* Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978.

Коротко об авторах

Дунаев В.А., Серый С.С., Герасимов А.В. – ФГУП ВИОГЕМ,
Абсатаров С.Х. – ЛГОК «Дорстройщебень».