© А.В. Дунаев, 2010

УДК 622.271

А.В. Дунаев

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД КОВДОРСКОГО АПАТИТ-МАГНЕТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ГЛУБИНОЙ

По данным изучения трещиноватости Ковдорского апатит-магнетитового месторождения в карьере и по керну скважин установлено, что вниз по вертикали от кровли скальных пород имеют место вариации элементов залегания основных систем трещин, на отдельных интервалах появляются дополнительные системы трещин, а интенсивность трещиноватости закономерно уменьшается до глубины примерно 300 м.

Ключевые слова: трещиноватость пород, прибортовая зона карьера, апатит-магнетитовое месторождение.

Семинар № 1

Ковдорское месторождение апатит-магнетитовых руд относится к карбонатитовому генетическому классу. Оно залегает в юго-западной краевой части одноименного интрузивного массива центрального типа, сложенного ультраосновными и щелочными породами. Первые из них (оливиниты, пироксениты) образуют ядро массива, а вторые (преимущественно ийолиты) окружают гипербазитовое ядро в виде почти сплошной, невыдержанной по мощности оболочки. Массив прорывает архейские гнейсы. Ийолитовый магматизм сопровождался широким развитием по гнейсам щелочных метасоматитов–фенитов. Возраст Ковдорского массива и апатит-магнетитового месторождения каледонский (355–430 млн лет) [4] .

Месторождение представлено столбообразным субвертикальным рудным телом, прослеженным скважинами на глубину около 1,5 км. В поперечном сечении оно вытянуто субмеридианально с расширением в своей южной части. Размеры рудного тела на поверхности 200–800 х 1300 м. С глубиной оно постепенно сужается. Упрощенная схема последовательности формирования рудопородного комплекса месторождения: гипербазиты (главным образом пироксениты) – ийолиты, фениты – руды – карбонатиты. Карбонатиты образуют дайки и прожилки. В их окружении по вмещающим породам развивается метасоматическая оторочка флогопитового слюдита или карбонат-слюдитовая. Мелкие дайки и прожилки карбонатитов часто на выклинках переходят в слюдитовые и карбонат-слюдитовые прожилки.

На месторождении проявлена кора выветривания предположительно палеоген – неогенового возраста. Она обычно распространяется на глубину от первых до 15–20 м и представлена глинисто-суглинистым и супесчано-дресвяным материалом, включающим многочисленные реликты слабо выветрелых пород. По зонам сближенных даек апатитсодержащих карбонатитов развивается штаффелитоносная кора выветривания, в которой установлены залежи апатит-штаффели-товых руд. Такая

кора выветривания местами уходит на глубину до 180 м от земной поверхности. Ковдорское месторождение отрабатывается карьером с 1962 г. Актуальность изучения характера изменения с глубиной трещиноватости слагающих месторождение горных пород обусловлена ее определяющим влиянием на взрываемость пород (сопротивление взрывному разрушению) и их устойчивость в бортах и уступах карьера. Знание того, как ведет себя трещиноватость с глубиной, позволяет существенно повысить достоверность прогноза указанных выше характеристик пород на глубоких, еще не вскрытых горизонтах карьера. Основными параметрами трещиноватости являются геометрия решетки и интенсивность трещиноватости породного массива. Первый параметр определяется количеством систем трещин и их ориентировкой, а второй - средним размером элементарного структурного блока (отдельности), ограниченного трещинами этих систем, т.е. блочностью пород. Чем она крупнее, тем меньше интенсивность трещиноватости, и наоборот. Выполненное автором исследование базируется на статистической обработке результатов измерений ориентировки трещин в уступах карьера и данных документации керна инженерно-геологических скважин на участке юго-восточного борта карьера. Этими скважинами разбурено 3 профиля, расположенных через 60–140 м. Расстояние между скважинами в профиле 100–150 м. Всего пройдено 12 скважин глубиной 100–300 м. Геологическая документация керна скважины выполнена специалистами Мурманской геологоразведочной экспедиции. В процессе документации фиксировались только трещины естественного происхождения.

На юго-восточном участке месторождения абсолютная отметка земной поверхности до начала его разработки составляла +(290–295) м, подошва рыхлых четвертичных отложений располагается примерно на отметке +285 м, а самый верхний уступ скальных пород – на отметке +262 м. Поскольку, как указывалось выше, мощность коры выветривания на месторождении не превышает 20 м, на большей части площади юго-восточного участка карьера она отсутствует. Только на его юго-западе массив скальных пород перекрыт штаффелитоносной корой выветривания, уходящей на глубину 100–170 м от подошвы четвертичных отложений. Исследованный участок является достаточно представительным для всего массива вмещающих пород Ковдорского месторождения, поскольку в его строении принимают участие все основные их типы (фениты, ийолиты, пироксениты).

Изменение с глубиной геометрии решетки трещиноватости. Прежде всего, коснемся, хотя бы в общих чертах, механизма формирования трещиноватости на рассматриваемом месторождении. В связи с этим важно отметить, что, как правило, на стенках трещин наблюдаются корочки карбонатитового, карбонат-слюдитового или слюдитового материала. Сказанное свидетельствует о возникновении первичной трещиноватости на Ковдорском месторождении непосредственно перед формированием комплекса даек и прожилков карбонатитов, размещение которых контролировалось этой трещиноватостью. Поскольку ранее было установлено преимущественно радиально-кольцевое развитие на месторождении даек карбонатитов и основных систем трещин [3], можно достаточно уверенно утверждать, что первичная трещиноватость пород была

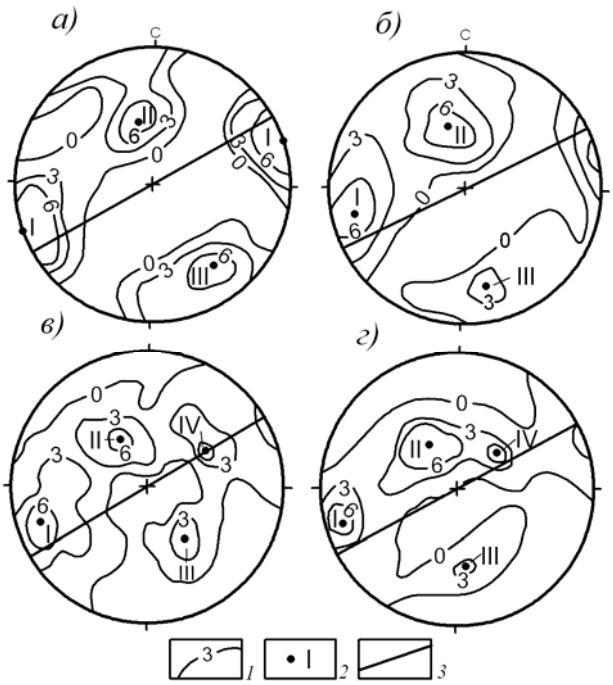

Рис. 1. Круговые диаграммы ориентировки трещин в массиве скальных пород юго-восточного участка прибортовой зоны карьера на горизонтах: + 262 м (а); + 215, 199 м (б); + 187, + 166 м (в); + 118,106 м (г): *1* – изолинии плотности точек (полюсов трещин) и их значения, %; *2* – полюс системы трещин и ее номер: I – радиальной, II – центриклинальной, III – периклинальной, IV – дополнительной, *3* – линия простирания уступов карьера

обусловлена давлением колонны карбонатитового расплава, поднимающейся из глубоких недр земной коры. Первичная трещиноватость характеризовалась наличием радиальной и кольцевых систем трещин. Трещины радиальной системы субвертикальны и в плане расходятся по радиусам от центра столообразного Главного рудного тела. Трещины кольцевых систем трассируются в плане прерывистыми дугами, расположенными на различном расстоянии от указанного центра. Среди них различаются центриклинальные, падающие к этому центру, т.е. в сторону карьерной выемки, и периклинальные, падающие в обратную сторону, т.е. в массив.

В последующие этапы тектонической активности района месторождения трещиноватость развивалась главным образом унаследовано (вдоль контактов даек карбонатитов и по карбонатитовым, карбонат-слюдитовым и слюдитовым прожилкам). Однако какая-то часть трещин каждого их этих этапов возникала по другим, чем первичная радиально-кольцевая трещиноватость, направлениям, усложняя решетку первичных трещин новыми (дополнительными) системами.

Обработка данных полевых измерений элементов залегания трещин выполнялась путем построения круговых диаграмм ориентировки трещин (рис. 1) с использованием стереографической сетки Шмидта по известной методике [1]. Изменение геометрии решетки трещиноватости породного массива изучено в диапазоне абсолютных отметок от +262 м до горизонтами, которые охарактеризованы диаграммами ориентировки трещин, составляет 30–60 м. Элементы залегания выявленных на диаграммах систем трещин показаны в +106 м, т.е. на глубину примерно150 м. Расстояние между смежными горизонтами, которые охарактеризованы диаграммами ориентировки трещин, составляет 30–60 м. Элементы залегания выявленных на диаграммах систем трещин показаны в табл. 1. Анализ рис. 1 и табл. 1 показывает, что на всем исследованном интервале по

Таблица 1

Элементы залегания систем трещин на различных горизонтах юго-восточного участка прибортовой зоны карьера

Горизонты, абс. отм., м	Системы трещин:								Индекс диаграммы	*n*
	I		II		III		IV			
	α	*β*	*α*	*β*	*α*	*β*	*α*	*β*		
+262	250, 70	90	346	43	141	68	-	-	*а*	70
+215,199	256	73	350	36	165	70	-	-	*б*	138
+187,166	250	76	328	34	140	42	58	43	*в*	90
+118,106	250	76	328	34	170	52	40	37	*г*	204

Примечание: *α* – азимут падения, град.; *β* – угол падения, град.; *n* – количество измерений ориентировки трещин

глубине (150 м) в породном массиве развиты радиальная, центриклинальная и периклинальная системы трещин. С глубиной наблюдаются некоторые изменения элементов залегания трещин этих систем. В частности, радиальная система, устойчивая по азимуту падения, на верхнем горизонте (+262 м) является субвертикальной с падением в обе стороны, а глубже – крутопадающей под углом 73-76° на запад – юго-запад. Центриклинальная система несколько изменяет свой азимут падения с 346–350° на верхних горизонтах до 328° на нижних. При этом угол ее падения уменьшается с 43° до 34°. Азимут падения периклинальной системы трещин от горизонта к горизонту изменяется незакономерно от 140° до 170°, а угол ее падения колеблется в диапазоне 42–70° с некоторой тенденцией к уменьшению с глубиной.

Из всех упомянутых выше систем трещин наибольшую опасность с точки зрения устойчивости уступов на юго-восточном борту карьера представляет центриклинальная система. Трещины данной системы следуют вдоль уступов и падают под сравнительно пологим углом в сторону карьерной выемки. По плоскости ослабления массива этой системы на одном из участков юго-восточного борта карьера произошла деформация группы уступов между горизонтами + 214 м и + 142 м. Полученные данные свидетельствуют о развитии, без сколько-нибудь выраженного затухания, центриклинальной системы трещин и на более глубоких горизонтах.

Еще одна форма изменения решетки трещиноватости пород с глубиной на исследуемом участке – появление ниже горизонта +187 м дополнительной системы трещин (аз. пад. 40–58° < 37–43°), близкой по простиранию к радиальной системе, но в отличие от нее достаточно полого падающей на северо-восток. Как и радиальная, дополнительная система трещин простирается субперпендикулярно уступам юго-восточного участка борта карьера и практически не влияет на их устойчивость (см. рис. 1).

Учитывая, что трещиноватость породного массива изучена на относительно небольшом интервале по глубине (150 м), было бы неправильным утверждать, что выявленные на этом интервале изменения геометрии решетки трещиноватости (выполаживание центриклинальной системы, появление дополнительных систем трещин) носят направленный характер и их можно распространять на всю

проектную глубину карьера (около 800 м). Вместе с тем полученные результаты позволяют уверенно говорить о том, что для Ковдорского месторождения характерно изменение по вертикали элементов залегания основных систем трещин, особенно центриклинальной и периклинальной, и появление на отдельных интервалах дополнительных систем трещин. Это обстоятельство необходимо учитывать при экстраполяции полученных на верхних горизонтах карьера данных о геометрии решетки трещиноватости пород для прогноза устойчивости стационарных уступов на глубоких, еще не вскрытых горизонтах. В методическом аспекте следует отметить важность перманентного изучения трещиноватости в карьере по мере его углубления.

Изменение с глубиной интенсивности трещиноватости (блочности) пород. Априори можно сказать, что в результате совокупного влияния на массив скальных пород двух гипергенных факторов (разгрузки массива вследствие удаления процессами денудации толщи пород, когда-то залегающих выше его современной поверхности, и выветривания) повсеместно должно наблюдаться уменьшение с глубиной интенсивности трещиноватости скальных пород. Действительно многие исследователи отмечали наличие указанного эффекта [2, 5]. Возникающие под воздействием гипергенных факторов дополнительные трещины образуются по уже имеющимся в массиве пород скрытым плоскостям ослабления (микротрещинам) или тонким прожилкам, не нарушая геометрию решетки тектонической трещиноватости. Вместе с тем вопрос о глубине и других особенностях проявления упомянутого эффекта остается слабо изученным. Очевидно, что эти особенности на разных участках земной коры будут существенно различаться, поскольку они зависят от многих причин (литологического состава и структуры массива, климатических условий формирования коры выветривания, скорости восходящих тектонических движений на данной территории в период действия денудационных процессов и др.). Для исследования этого вопроса на Ковдорском месторождении по каждой инженерно-геологической скважине и по всей их совокупности на юго-восточном участке карьера был рассчитан средний размер отдельности пород в интервалах, равных 50 м по вертикали (табл. 2), а на разрезах, приведенных к одной шкале глубин, этот параметр отражен графически (рис. 2). Анализ данных табл. 2 и рис. 2 показывает, что как по отдельным скважинам, так и в целом по участку, четко прослеживается тенденция к увеличению среднего размера отдельности пород с глубиной примерно в 300-метровом интервале от +265 м (отметки подошвы коры выветривания) до – 50 м. В частности, в целом по участку указанный параметр увеличивается от 0,54 до 1, 54 м. Речь идет именно о тенденции, так как по ряду скважин на фоне возрастания с глубиной размера отдельности пород на некоторых 50-метровых интервалах наблюдается его уменьшение, а в скважине № 56 размер отдельности пород уменьшается с глубиной практически по всему стволу. В целом по участку на интервале + 100 ч 50 м средний размер отдельности пород также меньше, чем на предыдущем интервале. Кроме того, в пределах любого 50-метрового интервала по глубине наблюдается достаточно высокая изменчивость среднего размера отдельности в плане. Например, в интервале +100 ч 50 м он колеблется от 0,30 до 1,85 м,

Таблица 2

Средний размер отдельности горных пород (м) по керну инженерно-геологических скважин

Номер скважины	Средний размер отдельности, м										
	По интервалам глубин, абс. отм., м										В целом по скважине*
	250-200	200-150	150-100	100-50	50-0	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	
51			0,26	0,39	0,37	0,45	0,61	0,47			0,45
52				0,30	0,38	0,46	0,49				0,40
53				0,47	0,83	0,78	0,83	1,19			0,77
54			0,26	0,62	0,85	0,81					0,71
55			0,60	1,71	1,09						1,16
56			1,19	0,75	0,44	0,67					0,75
57	0,30	0,47	0,85								0,45
58					0,25	0,76	1,01	1,12	1,29	1,65	1,16
59	0,8	1,47	2,42	1,85	2,17	2,5					1,85
60		0,9	1,18	1,63	1,37	1,81					1,4
61			0,78	1,51	2,27	2,51					1,77
62			1,36	1,61	3,84	5,0					2,97
По участку в целом**	0,54	0,95	1,22	1,08	1,45	1,54	0,74	0,9	1,29	1,65	1,17

Примечание: * – средневзвешенное на длину интервала по стволу скважины; ** – средневзвешенное на глубину скважины

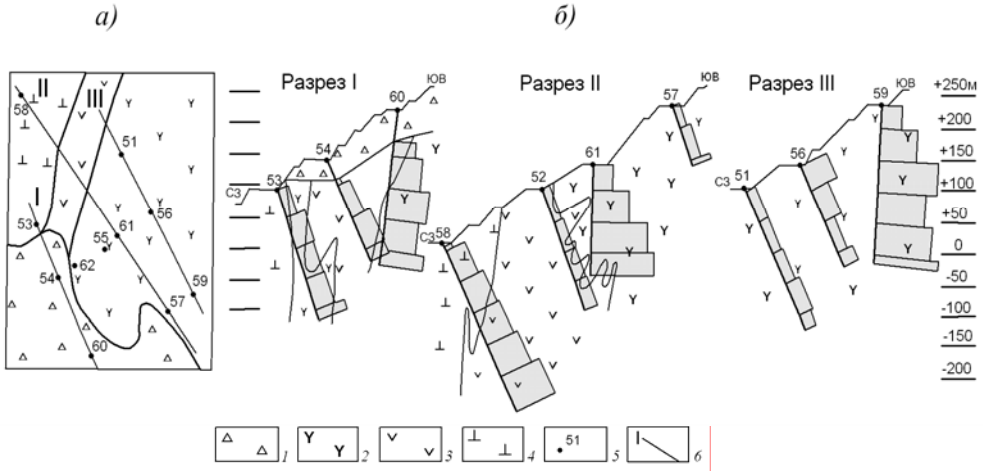

Рис. 2. Схематический геологический план (а) и разрезы (б) участка юго-восточного борта карьера рудника «Железный». На разрезах показаны диаграммы распределения среднего размера отдельности пород по стволам скважин (см. табл. 2): *1* – штаффелитоносная кора выветривания; *2* – фениты и фенитизированные гнейсы; *3* – ийолиты; *4* – пироксениты; *5* – инженерно-геологические скважины и их номера; *6* – разведочные профили и их номера

а интервале 0–50 м от 0,45 до 5,0 м. Ниже абс. отм. – 50 м имеющиеся данные (см. табл. 2) не представительны для оценки изменения интенсивности трещиноватости с глубиной, так как в интервале отметок от – 50м до – 150 м преобладают результаты определения блочности пород по скважинам №№ 51–53 с низким средним значением этого показателя (0,4–0,77м), а скважины №№ 59–62 с высоким средним значением блочности пород (1,16–2,97 м) остановлены выше отметки – 50 м. Однако есть косвенное подтверждение тому, что тенденция к увеличению блочности пород по вертикали сверху вниз от кровли скальных пород проявлена именно до глубины примерно 300 м. На стадии детальной разведки месторождения по данным изучения керна скважин с целью оценки водопроводимости пород было выявлено закономерное увеличение с глубиной доли слаботрещиноватых пород с размером отдельности 0,5 м и более (С.Б. Лесохин, 1975 г.). При этом установлено, что глубже 300 м доля слаботрещиноватых пород стабилизируется на уровне 84,5 %. Примерно до такой же глубины прослеживается по керну скважин развитие по трещинам гипергенной минерализации, представленной глав-ным образом гидроксидами железа. Таким образом, на Ковдорском месторождении вниз по вертикали от кровли скальных пород: в целом сохраняется первичная радиально-кольцевая решетка трещиноватости пород (с вариациями элементов залегания основных систем трещин, особенно центриклинальной и периклинальной), которая на отдельных интервалах по глубине осложняется дополнительными системами трещин; интенсивность трещиноватости закономерно уменьшается до глубины примерно 300 м, что проявляется увеличением среднего размера отдельности пород с 0,54 до 1,54 м; эта закономерность носит характер тенденции и выявляется статистически на основе большого массива данных о блочности пород. Автор благодарит к.т.н. С.С. Серого (ФГУП ВИОГЕМ) за помощь в сборе материалов и консультации по теме данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Невский В.А.* Трещинная тектоника рудных полей и месторождений.– М.: Недра, 1979. – 224 с.

2. *Попов В.Н., Байков Б.Н.* Технология отстройки бортов карьеров. – М.: Недра, 1991. – 252 с.

3. *Серый С.С.* Инженерно-геологическая оценка и моделирование структуры скальных горных пород рудных месторождений. – Автореферат канд. дисс. – М.: МГГУ, 1998. – 17 с.

4. *Терновой В.И.* Карбонатитовые массивы и их полезные ископаемые. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1977. – 168 с.

5. *Ткачук Э.И.* Закономерности вертикальной изменчивости параметров трещиноватости и фильтрационных свойств скальных массивов. – «Инженерная геология», 1992, № 4, с. 3–26. ГИАБ

Коротко об авторе

Дунаев А.В. – аспирант Московского государственного горного университета, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru