Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XX, вып. 2, 1976 г.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ И ОХРАНЫ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Э.В.Каспарьян, Р.В.Медведев,
В.В.Жуков, Е.В.Чернов

При разработке месторождений полезных ископаемых широко применяются системы с открытым очистным пространством, в результате чего в массивах пород образуются полости значительных размеров. Это создает непосредственную опасность при производстве работ на участках, примыкающих к выработанным пространствам, и угрожает зданиям, сооружениям, угодиям, расположенным на дневной поверхности.

Для предотвращения массовых обрушений пород в выработанном пространстве и, как следствие, возникновения опасных динамических напряжений в окружающем массиве пород, воздушных ударов в выработках или провалов на дневной поверхности необходимо оценивать устойчивость выработанных пространств и налегающей толщи пород.

Расчеты устойчивости могут быть выполнены достаточно надежно лишь при условии получения необходимых данных о механических свойствах, структурных особенностях и напряженном состоянии исследуемого массива пород. Вначале необходимо установить общую пространственную структуру массива пород, выявить основные петрографические разновидности пород, определить виды структурных неоднородностей, оказывающих решающее влияние на их деформирование и разрушение. Далее следует определить основные механические (в первую очередь, прочностные) характеристики и составить по известным методикам их паспорта прочности. Одновременно необходимо выявить закономерности расположения в пространстве определяющих или "эффективных" структурных неоднородностей, оценить величину образуемых ими структурных блоков и установить прочностные характеристики массива по поверхностям структурных неоднородностей.

Для расчета устойчивости выработанных пространств и дневной поверхности важно также знать распределение напряжений, возникающих в массиве пород вокруг горных выработок. Величины действующих напряжений могут быть получены экспериментальным или расчетным путем.

Описанный методический подход проиллюстрируем конкретным примером прогнозной оценки устойчивости выработанных пространств и возможных обрушений дневной поверхности при ведении горных работ на Ковдорском вермикулит-флогопитовом месторождении.

Месторождение приурочено к массиву щелочно-ультраосновных пород. Ядро его сложено оливинитами, пироксенитами, мальтейгитами и ийолитами. Наиболее богатые флогопитом породы залегают в виде сложной крутопадающей полукольцевой зоны, периферическая часть которой сложена средне- и крупнозернистыми, а центральная - гигантозернистыми (пегматоидными) породами диопсид-флогопит-оливинового состава. Над флогопитовым комплексом пород залегает толща гидрофлогопита, не имеющего промышленного значения, а выше (до поверхности) - вермикулитовые руды, разрабатываемые открытым способом. Флогопитовые руды отрабатываются камерно-целиковой системой разработки. В первую стадию извлекаются камерные запасы, а во вторую - отрабатываются междукамерные целики.

Горно-техническая ситуация на руднике сложилась таким образом, что открытые работы в вермикулитовом карьере ведутся непосредственно над выработанными камерами I0-7 (рис.I), в это же время необходимо извлекать междукамерные целики I0-9, 9-8, 8-7 и т.д. Это обусловило необходимость оценки устойчивости толщи массива над образующимся выработанным пространством по мере извлечения междукамерных целиков именно с точки зрения работы вермикулитового карьера. Однако, если бы работы в вермикулитовом

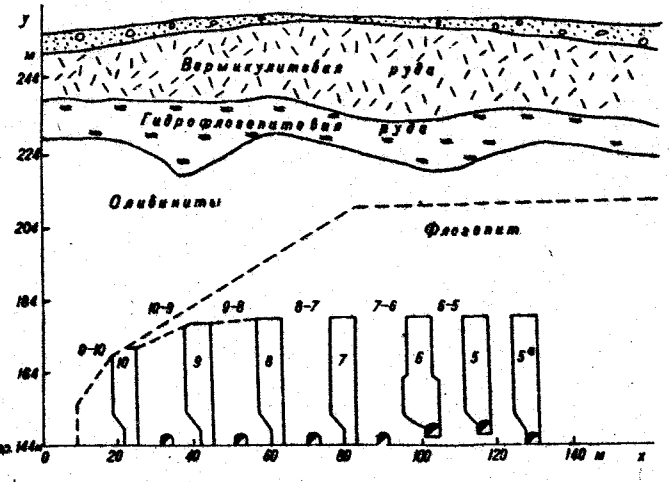


Рис.1. Схема строения массива Ковдорского флогопитового месторождения, принятая в расчетах параметров напряженно-деформированного состояния вариационно-разностным методом

карьере и не проводились, задача оценки устойчивости вышележащей толщи оставалась бы весьма актуальной как с точки зрения возможности возникновения условий для обрушения пород в выработанное пространство, так и для охраны поверхности.

Закономерности деформирования и разрушения массивов горных пород определяются, с одной стороны, составом пород, с другой, структурными неоднородностями массива, которые проявляются в образовании поверхностей ослабления различных типов и размеров. Для флогопитовой залежи промышленной зоны Ковдорского месторождения характерны породообразующие минералы (флогопит, диопсид, оливин и апатит) в виде гигантских кристаллов, достигающих в поперечнике нескольких метров, т.е. соизмеримых с поперечным сечением горных выработок. Естественно, что кристаллы таких размеров будут влиять на устойчивость выработок, определяя условия образования вывалов пород из их стенок и кровли. В первую очередь это относится к кристаллам флогопита, как минералу, обладающему весьма совершенной спайностью. При визуальном осмотре выработок в кровле и стенках наблюдаются обнажения пород по поверхностям спайности кристаллов флогопита.

Существенно, что поверхности ослабления, обусловленные спайностью кристаллов флогопита и контактами между пегматоидными образованиями, обладают четко выраженными закономерностями ориентации в пространстве. Плоскости спайности кристаллов флогопита в большинстве случаев ориентированы нормально или почти нормально к поверхности контактов пегматоидных флогопитоносных тел с вмещающими породами.

Другим видом неоднородностей рассматриваемого месторождения является трещиноватость, весьма характерная для массивов скальных горных пород. В массиве четко выделяются две группы трещин, различающихся в первую очередь линейными размерами. Большинство крупно- и мелкоблоковых трещин концентрируется около двух взаимноперпендикулярных направлений: 50-60° (220-230°) и 150° и имеют углы падения 40-50°. Эти же направления соответствуют и преобладающим элементам залегания жилоподобных пегматоидных залежей, а поскольку поверхности спайности гигантских кристаллов в свою очередь располагаются нормально к поверхности контактов этих залежей, то отмеченные направления характерны и с точки зрения ориентировки кристаллов в пространстве. Все это позволяет считать выделенные направления наиболее "опасными" в массиве пород рассматриваемого месторождения.

Механические свойства минералов, встречающихся в пегматоидных выделениях, и основных разновидностей пород месторождения приведены в таблице, из которой видно, что модули упругости и прочностные характеристики пород ниже аналогичных характеристик соответствующих минералов. Особо следует отметить роль флогопита: присутствие его в породах резко снижает их прочность и обуславливает широкие вариации модулей упругости.

По средним значениям пределов прочности при сжатии и растяжении, построены диаграммы прочности основных разновидностей пород (рис.2), по которым графически определены коэффициенты сцепления τ и углы внутреннего трения φ флогопит-диопсид-оливиновых пород (110 кг/см^2, 47°) и оливинитов (130 кг/см^2, 45°).

Механические свойства минералов и пород Ковдорского флогопитового месторождения

Минералы и породы	Плотность, г/см^3	Скорость продольных волн, м/с	Скорость поперечных волн, м/с	Коэффициент поперечных деформаций	Модуль продольной упругости, $E \cdot 10^5$ кг/см^2	Модуль деформаций $Д \cdot 10^5$ кг/см^2	Прочность, кг/см^2	
							при сжатии	при растяжении
				Минералы				
Флогопит	2,70	5280	2900	0,28	5,90	2,80	–	0,06–0,20 1600–2100
Диопсид	3,26	7050	4000	0,26	13,70	8,66	1440	250
Оливин (форстерит)	3,32	8400	5160	0,24	20,05	–	–	–
Апатит	3,10	6160	3490	0,23	10,30	9,40	1000	120
				Породы				
Оливиниты	3,00–3,50 3,26	4500–8200 6140	–	0,11–0,38 0,25	4,50–19,70 11,2	–	370–1270 1100	30–160 75
Ийолиты	2,60–3,35 2,80	5000–7200 5960	–	0,11–0,24 0,19	5,50–9,80 8,10	–	900–2800 1740	36–250 100
Флогопит-диопсид оливиновые породы	2,95–3,45 3,23	2600–7430 4950	–	0,11–0,42 0,24	1,20–14,10 7,80	–	280–1600 650	24–150 100
Апатитовые дайки	3,09	4240	–	–	5,05	4,20	500	80

Примечание. 1. Для минералов даны величины, усредненные по всем кристаллографическим направлениям. В числителе приведены данные пределов прочности на растяжение нормально к плоскостям спайности кристаллов, в знаменателе – вдоль плоскостей спайности.

2. Для пород в числителе указаны интервалы изменений свойств, в знаменателе – их модальные значения.

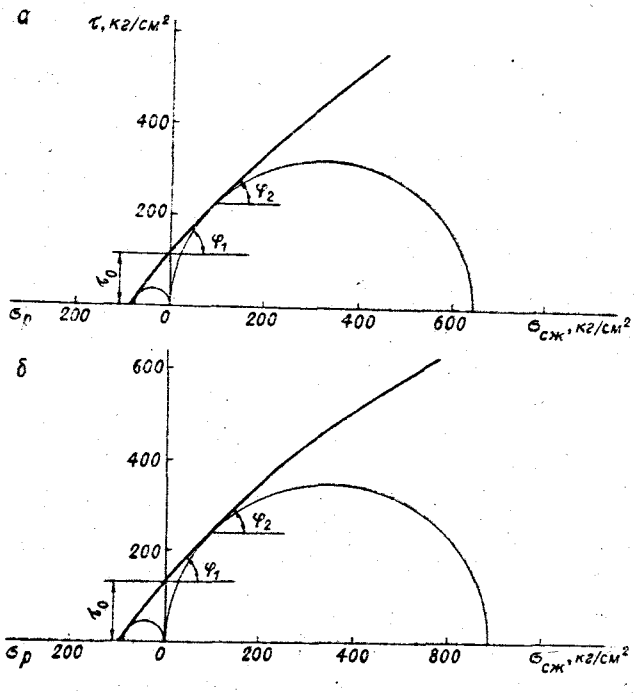


Рис.2. Обобщенные паспорта прочности флогопит-диопсид-оливиновых пород (а) и оливинитов (б)

Поскольку методика определения прочностных характеристик непосредственно по поверхностям структурных неоднородностей разработана недостаточно, можно ориентировочно оценить величину сцепления по контактам неоднородностей в оливинитах и флогопит-диопсид-оливиновых породах исходя из средних значений коэффициента структурного ослабления $K = 0,01 \div 0,02$. Для условий массива рассматриваемого месторождения сцепление на контактах ориентировочно составляет 1–2 кг/см^2.

Для определения полей напряжений в неоднородном массиве Ковдорского флогопитового месторождения при ведении горных работ был использован численный вариационно-разностный метод, методика приложения которого к задачам механики горных пород разработана в Горном институте КФ АН СССР.

Для исследования изменения напряженно-деформированного состояния массива по мере извлечения междукамерных целиков определялись поля напряжений, образующиеся в массиве при отработке двух (10–9 и 9–8) и трех (10–9, 9–8 и 8–7) целиков горизонта +144 м.

Вычисленные величины напряжений и результаты определения прочностных свойств пород с учетом поверхностей структурных неоднородностей использовались при анализе устойчивости выработанных пространств и, главным образом, вышележащей толщи пород. При этом определяющим с точки зрения устойчивости отдельных блоков, на которые расчленяется массив поверхностями структурных неоднородностей, является распределение и характер горизонтальных компонент поля напряжений. Можно выделить три возможные схемы действия напряжений по граням структурных блоков.

1. Первая схема характеризуется действием лишь сжимающих горизонтальных напряжений. Разрушение массива и вывалы при этом могут наблюдаться в случае, когда вес блока превышает величины сил трения по всем его граням.

2. Если по двум из граней блоков действуют сжимающие напряжения, а по оставшимся двум растягивающие, то вывал структурного блока более веро-

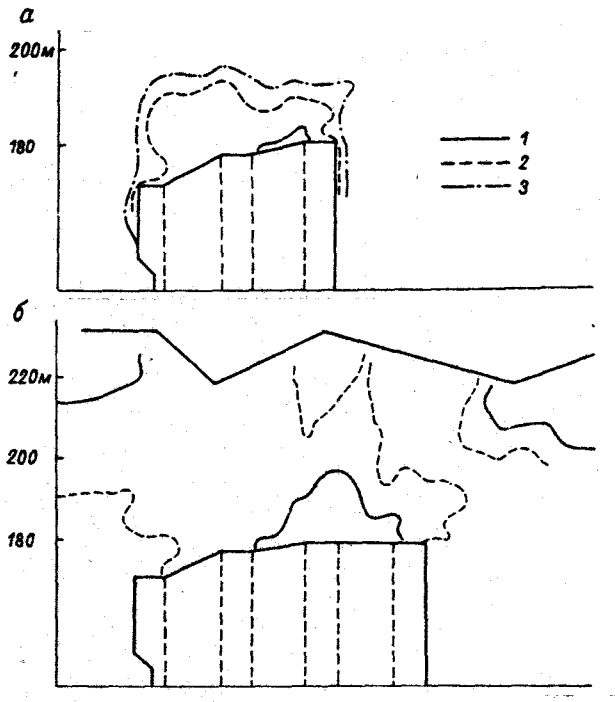


Рис.3. Области различной степени устойчивости горных пород налегающей толщи при отработке двух (а) и трех (б) междукамерных целиков:
1 – граница зон, где горизонтальные напряжения растягивающие; 2 – граница зон, где одно из горизонтальных напряжений растягивающее; 3 – граница области, где выполняется условие скола по поверхности структурных неоднородностей

ятен, чем в первом случае и определяется также соотношением веса блока и силами трения по двум граням. Вторая схема может быть положена в основу при оценке устойчивости выработок, эксплуатирующихся без присутствия в них людей.

3. Когда же по всем граням действуют растягивающие напряжения, то вывал структурного блока неизбежен.

Анализ состояния массива при выемке двух междукамерных целиков показывает, что в этом случае устойчивость вышележащей толщи сохраняется. Как следует из рис.3,а, область безусловного разрушения и выпадения блоков весьма невелика и непосредственно примыкает к контуру выработанного пространства.

В случае извлечения трех целиков (рис.3,б) эти области уже весьма значительны и охватывают не только приконтурную область, но и фланговые части массива. Это свидетельствует о критическом состоянии массива и возможном самообрушении потолочины и вышележащей толщи.

На основе проведенных исследований могут быть приняты различные решения. При весьма ценной поверхности, которую необходимо охранять, или, если требуется обеспечить устойчивость поверхностных сооружений и безопасность работ в карьере (как это имеет место в условиях рудника „Ковдор") необходимо извлекать не более двух целиков, затем оставлять предохранительный целик значительных размеров и далее опять извлекать не более двух целиков.

При малоценной поверхности после извлечения двух целиков необходимо предусмотреть искусственное обрушение потолочины и продолжать горные работы системами с массовым обрушением.

Изложенный подход является достаточно общим, применимым для различных массивов горных пород сложного строения. Он позволяет предрассчитывать состояние различных областей массива, в том числе прилегающих непосредственно к дневной поверхности, и предусматривать эффективные меры по обеспечению устойчивости и охраны как горных выработок, так и объектов на поверхности.