

УДК 622.831.24:622.272.6

Б. П. БАДТИЕВ, Р. Б. ГАЛАОВ, В. П. МАРЫСЮК, Ю. Н. НАГОВИЦИН (ЗФ ОАО «ГМК «Норильский Никель»)
В. А. ЗВЕЗДКИН (СПГГИ)

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОРОД ПОЧВЫ НА РУДНИКЕ «ОКТЯБРЬСКИЙ»



Б. П. БАДТИЕВ,
директор
рудоуправления
«Талнахское»,
канд. техн. наук



Р. Б. ГАЛАОВ,
первый зам.
начальника —
главный инженер
Горно-геологического
управления



В. П. МАРЫСЮК,
начальник отдела
Центра
геодинамической
безопасности



Ю. Н. НАГОВИЦИН,
начальник отдела
Центра
геодинамической
безопасности



В. А. ЗВЕЗДКИН,
канд. техн. наук

В 2007 г. в районе предохранительного целика шахтных стволов ВЗС-ВСС был отмечен существенный рост сейсмоактивности с появлением сейсмособытий повышенной энергетике: зафиксировано более 30 сейсмических событий с энергией 3,5 кДж и более. Для выявления причин в пределах горного отвода рудника «Октябрьский» были проведены исследования возможной корреляционной связи между горнотехническими условиями, геологическим строением интрузии, интенсивностью и дислокацией геодинамических явлений, имеющих признаки сейсмособытий.

Исходя из результатов ранее проведенных исследований*, считали, что основной причиной роста сейсмической активности является достижение критического значения отношения суммарной площади опорных элементов к общей площади подработки, которое предполагает вероятность перехода неотработанных участков рудной залежи в предельное состояние. По аналогии с отработкой других месторождений с обрушением кровли или удержанием на целиках для условий рудника «Октябрьский» было принято, что критическое значение наступает при отношении суммарной площади неотработанных участков рудной залежи к общей площади подработки порядка 16–17 %.

По мнению авторов, оценка геомеханического состояния массива по критерию критической величины его подработки является

полезной для своевременной разработки рекомендаций по управлению горным давлением, однако использование только этого параметра не вполне корректно. В первую очередь это связано с недостаточным обоснованием критической величины, так как отработку рудных залежей Талнахского и Октябрьского месторождений ведут не с обрушением кровли или удержанием ее на целиках, а с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Несмотря на невысокие прочностные и деформационные характеристики закладочного материала, сжатие закладочного массива в компрессионном режиме способно в достаточной мере сохранить физико-механические характеристики горно-геологического комплекса пород, вмещающих интрузию, и повлиять на деформационные и нагрузочные свойства подработанного массива. В связи с этим не вполне правомерно считать, что только сокращение площади массива богатых руд до критического значения определяет геомеханическое состояние неотработанных участков рудной залежи и вмещающих горных пород и является причиной роста сейсмической активности.

При интенсивной отработке рудных и нерудных месторождений немаловажным фактором, участвующим в формировании напряженно-деформированного состояния неотработанных участков, является отношение линейных размеров отработанных

* О возможных причинах увеличения сейсмической активности шахтных полей рудников «Октябрьский» и «Таймырский» Норильского месторождения в 2003 г.: влияние площадей подработки налегающих породных массивов / В. Н. Опарин, А. П. Тапсиев, А. И. Востриков и др. // ФТПРПИ. — 2005. — № 1.

шахтных полей к глубине залегания полезных ископаемых.

Так, например, согласно исследованиям, в условиях месторождений Талнаха полная подработка земной поверхности со сдвижением больших масс горных пород имеет место, когда протяженность сплошного выработанного пространства по простиранию и падению достигает $1,4H_{cp}$. В настоящее время размер выработанного пространства в пределах горного отвода рудника «Октябрьский» по простиранию пока не достиг $1,4H_{cp}$. Однако, учитывая интенсивное разбуривание рудного массива в целях формирования защищенных зон и зон площадной разгрузки, а также сокращение в плане размеров разделительных массивов РМ-1 и РМ-2, проведение горных работ приближается к условиям полной подработки земной поверхности, а неотработанные участки рудной залежи находятся на грани выхода из состояния предельного равновесия.

Таким образом, в настоящее время параметры отработки богатых руд на руднике «Октябрьский» приблизились сразу к двум критическим значениям, при которых в массиве горных пород появляются зоны критических растягивающих напряжений, а значительно возрастающие при этом опорные нагрузки передаются в режиме штампа на массив горных пород, подстилающих рудную залежь. Это подтверждается и прослеживаемой тенденцией более тесного группирования гипоцентров сейсмособытий в кровле и почве рудной залежи.

В ранее проведенных исследованиях отмечалось, что формирование зон площадной разгрузки обеспечивает сдвижение выработанного массива горных пород в режиме плавного оседания, без появления зон критических горизонтальных деформаций. Такой режим оседания массива горных пород сопровождается снижением числа и энергии сейсмособытий, проявляющихся в кровле рудной залежи. Одновременно с этим отмечалось, что развитие очистных работ в РМ-1 приводит к более напряженному состоянию почвы руд-

ной залежи. Как показало физическое моделирование отработки РМ-1 и РМ-2 рудника «Октябрьский», напряженное состояние почвы рудной залежи при подработке блоковых структур может характеризоваться коэффициентом концентрации напряжений в пределах от 3 до 7.

Рассматривая дислокацию сейсмических событий при развитии очистных работ, следует отметить, что по данным мониторинга прошлых лет прослеживалась тенденция группирования гипоцентров сейсмособытий в непосредственной близости к тектоническим нарушениям. Однако в последнее время наблюдается тенденция их дислоцирования непосредственно в массиве блоков, сформированных тектоническими нарушениями. Так, сопоставление положений гипоцентров сейсмических событий на восточном фланге предохранительного целика ВЗС-ВСС показывает слабую связь сейсмической активности с тектоническими нарушениями и более тесное их группирование в теле тектонического блока.

В целом достаточно логичная картина напряженно-деформированного состояния осадочных пород и интрузии выглядит следующим образом. Происходящие процессы сдвижения в мульде выработанного массива горных пород вызывают высокие уровни давления на неотработанные участки рудной залежи, а также в их кровле и почве. Благодаря формированию защищенных зон и зон площадной разгрузки неотработанные участки рудной залежи становятся более податливыми, а области высокого давления смещаются в более жесткие массивы горных пород, слагающих почву и кровлю рудной залежи. При этом следует отметить, что породы кровли смещаются в режиме растяжения с формированием техногенных систем микро- и макротрещин, которые исключают потенциальную возможность массива кровли накапливать упругую энергию при нагружении внешними силами. Массив же горных пород почвы деформируется под рудным массивом в режиме объемного сжатия. Учитывая, что гор-

ные породы лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению, такой режим нагружения предопределяет накопление породами почвы упругой энергии, которая может вызывать в горных породах появление трещин давления. Кроме того, напряженное состояние массива почвы может быть осложнено наличием в прочных породах прослоев слабых пород, например аргиллитов. Компрессионное сжатие таких прослоев может послужить источником дополнительных напряжений в почве рудной залежи.

Таким образом, на участках рудника «Октябрьский», где не проводили работы по обеспечению дополнительной податливости рудного массива, источником энергоемких сейсмособытий может быть достаточно высокая жесткость почвы, сложенной из высококомодульных горных пород, которые находятся в объемном нагружении и деформируются в упругом режиме. При выходе из условия предельного равновесия такие почвы склонны к динамическому разрушению (образование трещин давления) с выделением энергии в окружающую среду. Появление в почве рудной залежи зон повышенных напряжений, превышающих предел прочности горных пород на сжатие, подтверждено каротажем стенок вертикальных скважин. Так, каротаж вертикальных скважин, пройденных в почве выработок восточного фланга предохранительного целика стволов ВЗС-ВСС по породам, представленным мощными слоями габбро-долеритов и роговиков, показал наличие зон повышенных горизонтальных напряжений. Максимальные деформации контура с разрушением стенок скважин отмечены на глубине 10 м от контакта руда—порода.

Появление повышенных горизонтальных деформаций связано, очевидно, с тем, что нагружение происходит в режиме, когда скорость приращения напряжений σ превышает скорость приращения деформаций ϵ , т. е. имеет место неравенство вида $\Delta\sigma/\Delta t > \Delta\epsilon/\Delta t$. Исключить такой режим деформирования пород можно релаксацией напряжений за счет наведения в

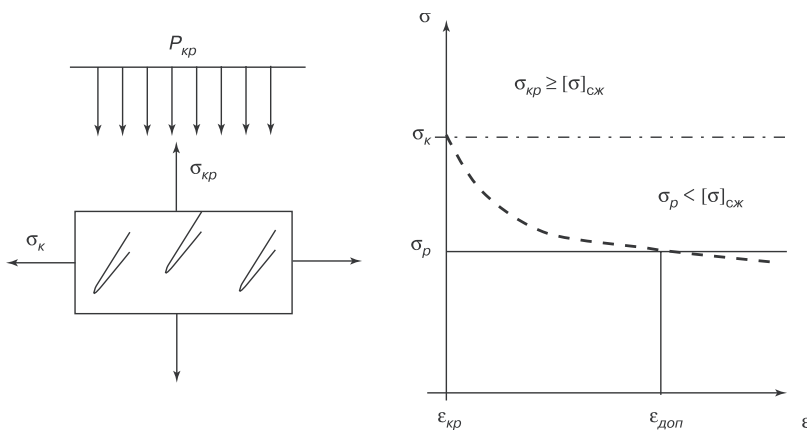


Рис. 1. Схема релаксации (снижения) напряжения в породном массиве за счет наведения в нем техногенных трещин

массиве почвы техногенных трещин (рис. 1), которые, обеспечивая дополнительную податливость $\epsilon_{доп}$, позволяют массиву горных пород «уходить» из-под действия опасных нагрузок $P_{кр}$ и критического уровня напряжений.

Создать такие условия можно бурением скважин с последующим взрыванием в них камуфлетных зарядов. Такие работы были проведены на восточном фланге предохранительного целика ВЗС-ВСС в районе панели 10 (рис. 2). В почве разрезного штрека было пробурено 20 скважин диаметром 102 мм и длиной 25 м под углом 60° к горизонту. Шаг бурения скважин составлял порядка 4 м. В скважины

размещали заряды ВВ массой по 18 кг, которые взрывали посекционно (по 5 скважин) в направлении с севера на юг.

Перед бурением скважин была выполнена инструментальная оценка напряженного состояния массива почвы виброакустическим экспресс-методом, основанным на взаимосвязи амплитуды акустических сигналов и напряженного состояния массива горных пород при ударно-вращательном бурении в нем шпуров или скважин. Известно, что при проходке выработки в окружающем ее массиве горных пород формируется зона неупругих деформаций за счет появления в породах техногенных систем макро- и

микротрещин, вызванных перераспределением поля напряжений и наведением в массиве напряжений, превышающих предел прочности горных пород. Протяженность зоны неупругих деформаций, имеющей обычно овоидальную форму, кратна примерно половине максимального размера выработки. В этой зоне интенсивность виброакустического сигнала определяется не энергетикой образования трещин давления, а ударным воздействием бурового инструмента на горные породы. Поэтому для качественной оценки напряженности массива горных пород, слагающих почву предохранительного целика, был принят уровень импульсов виброакустического сигнала в зоне неупругих деформаций, фиксируемый прибором «Прогноз-М». Протяженность зоны для условий эксперимента составляла около 1,5 м от почвы разрезного штрека.

Результаты качественной оценки напряженности пород почвы в виде графиков концентрации импульсов виброакустического сигнала (рис. 3) показали, что в почве предохранительного целика прослеживаются зоны как пониженных, так и повышенных напряжений. Появление зоны пониженных напряжений I вызвано, как было сказано выше, влиянием выработки и, возможно, разгруз-

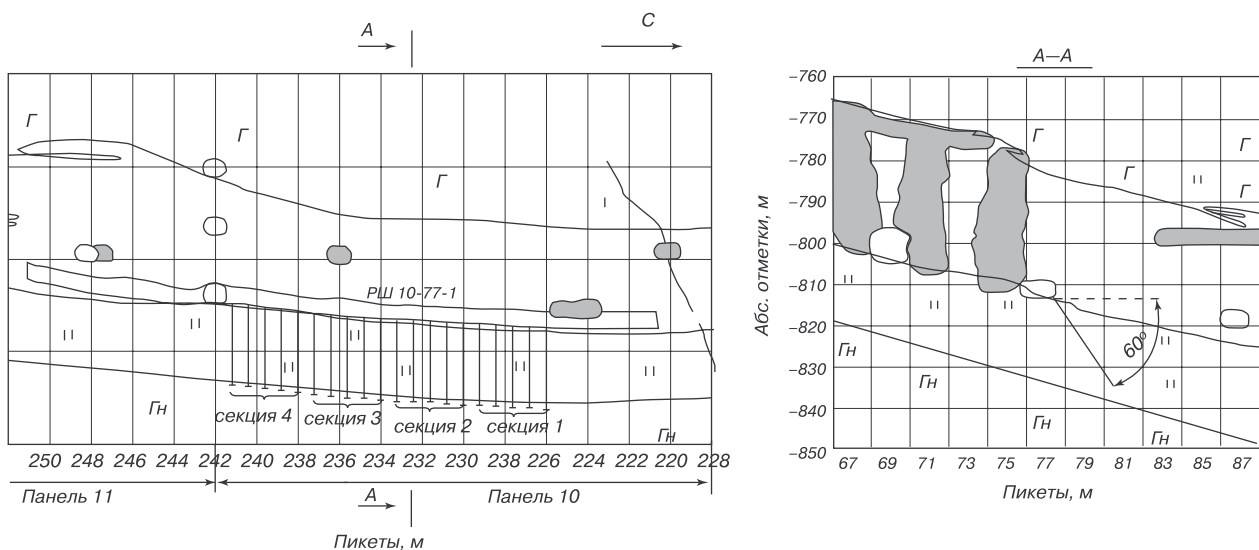


Рис. 2. Образование зоны трещиноватости с помощью камуфлетного взрывания скважинных зарядов в почве разрезного штрека

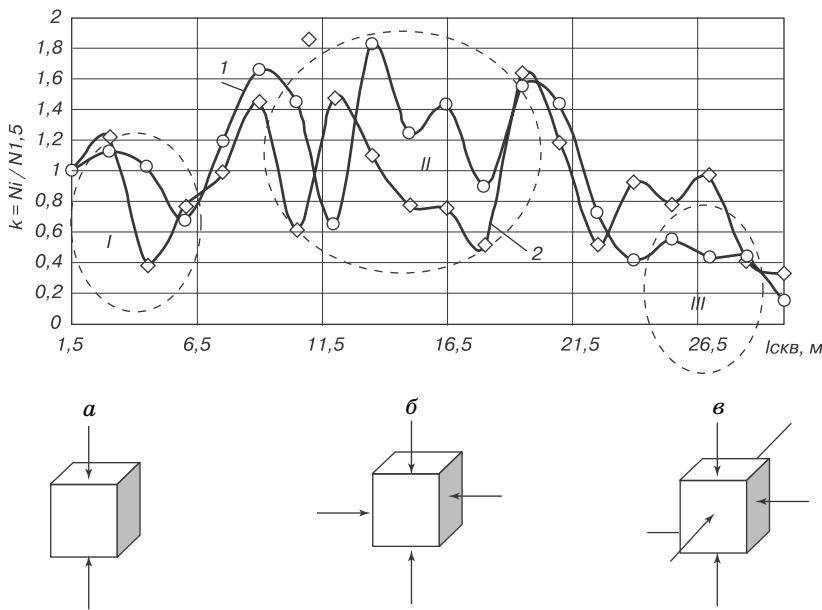


Рис. 3. Концентрация импульсов виброакустического сигнала по скважинам 1, 2:

k — коэффициент концентрации; N — число импульсов

кой массива техногенными трещинами, наведенными в результате ранее проявившихся сейсмических событий. В этой зоне горные породы находятся в одноосном напряженном состоянии (см. рис. 3, поз. а) и не способны за счет интенсивной нарушенности к накоплению упругой энергии. За ней явно прослеживается зона повышенных напряжений II, в которой при бурении скважин акустическая эмиссия в массиве формируется за счет образования трещин давления. Эта зона располагается в отметках примерно от 10 до 20 м от уровня разрезного штрека и хорошо согласуется с ранее проведенным визуальным каротажем вертикальных скважин. Горные породы почвы в зоне II находятся в плоском напряженном состоянии (поз. б), менее нарушены, их де-

формирование происходит с накоплением упругой энергии. Особо следует отметить зону III, в которой не происходит концентрация импульсов виброакустического сигнала. Это объясняется тем, что горные породы в этой части почвы предохранительного целика находятся в объемном напряженном состоянии (поз. в) и при бурении скважин деформируются только в упругом режиме без образования трещин.

После проведения камуфлетных взрывов была выполнена оценка сейсмоактивности почвы восточного фланга предохранительного целика ВЗС-ВСС. Она показала, что в целом сейсмоактивность массива почвы снизилась. При этом расположение гипоцентров проявляющихся сейсмособытий переместилось в область по-

вышенных напряжений за пределы зоны разгрузки, сформированной бурением скважин и взрыванием камуфлетных зарядов. Это не противоречит законам геомеханики и свидетельствует об эффективности воздействия скважин и взрывных работ на напряженное состояние массива горных пород. **ГЖ**

(3919) 37-37-30,
Бадтиев Батрадз Петрович;
(3919) 40-61-10,
Галаов Роберт Борисович;
(3919) 45-12-33,
Марысюк Валерий Петрович;
(3919) 37-19-78,
Наговицин Юрий Николаевич;
(812) 328-86-00,
Звездкин Владимир Александрович

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОРОД ПОЧВЫ НА РУДНИКЕ «ОКТЯБРЬСКИЙ»

Бадтиев Б. П., Галаов Р. Б., Марысюк В. П., Наговицин Ю. Н., Звездкин В. А.

Представлены результаты исследований корреляционной связи между горнотехническими условиями, геологическим строением рудной залежи, интенсивностью и дислокацией геодинамических явлений с признаками сейсмособытий в пределах горного отвода рудника «Октябрьский» и разработанный на этой основе способ управления напряженным состоянием массива почвы залежи путем его разгрузки камуфлетным взрыванием скважинных зарядов.

Ключевые слова: сейсмоактивность, геодинамические явления, напряженное состояние, площадь подработки, опорные элементы.