УДК 622.83.551.252

В.А.ЗВЕЗДКИН, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, vzvezdkin@yandex.ru*
Б.Ю.ЗУЕВ, *канд. техн. наук, заведующий лабораторией, (812) 328 82 09*
В.М.КЛИМКИНА, *младший научный сотрудник, (812) 328 82 09*
Санкт-Петербургский государственный институт (технический университет)
А.Г.АНОХИН, *главный инженер рудника «Октябрьский», (3919) 37 21 25*
Т.П.ДАРБИНЯН, *зам. главного инженера – начальник участка прогнозирования и предотвращения горных ударов, (3919) 37 21 25*
ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель»

V.A.ZVEZDKIN, *PhD in eng. sc., leading research assistant, vzvezdkin@yandex.ru*
B.Yu.ZUEV, *PhD in eng. sc., head of laboratory, (812) 328 82 09*
V.M.KLIMKINA, *junior research assistant, (812) 328 82 09*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)
A.G.ANOKHIN, *chief engineer at the Oktiabrsky Ore mine, (3919) 37 21 25*
T.P.DARBINYAN, *deputy chief engineer, head of section on prediction and rockburst prevention, (3919) 37 21 25*
Norilsk Nickel Co.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МАССИВОВ ГЛУБОКИХ РУДНИКОВ ТАЛНАХА

Приведены результаты и анализ формирования напряженно-деформированного состояния блоковой структуры, вмещающей разделительные массивы. Установлены закономерности влияния подработки блоковых структур на напряженное состояние почвы разделительных массивов. Даны рекомендации по безопасному ведению горных работ в разделительных массивах.

***Ключевые слова*:** рудник, рудная залежь, разделительный массив, почва, напряжения, деформации, напряженно-деформированное состояние.

INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF FLOOR OF THE DIVIDING MASS OF DEEP-LYING ORE MINES AT TALNAKH

The paper contains the results and analysis of the formation of stress-strain state in blocky structure enclosing the dividing mass. The regularities were established on the influence of blocky structure undermining on stress state of the floor of dividing mass. Recommendations are given for the safe mining in the dividing rock mass.

***Key words*:** ore mine, ore deposit, dividing rock mass, floor, rock stresses, deformation, stress-strain state.

При отработке разделительных массивов наблюдается повышение сейсмоактивности массива горных пород, слагающих почву рудных залежей. Так, например, при отработке разделительного массива РМ-1 на руднике «Октябрьский» отмечается повышенная плотность сейсмособытий с выделением значительной энергии, оказывающей сотрясательное воздействие на рудный массив. О сложном напряженно-деформирован-

ном состоянии пород почвы разделительных массивов свидетельствует и керновое бурение. Керновым бурением было установлено, что при деформировании массива почвы разделительного массива в условиях стесненных деформаций напряжения могут превышать 0,7 предела прочности руды на одноосное сжатие, что подтверждает деформирование почвы в динамическом режиме.

В связи с небольшой скоростью подвигания очистных фронтов на руднике (примерно 8-16 м в год), исследования напряженного состояния почвы при отработке разделительных массивов были проведены методом моделирования на эквивалентных материалах.

На модели в масштабе 1:500 воспроизводился рудопородный массив в границах разделительных массивов РМ-1 и РМ-2 рудника «Октябрьский». Моделировался рудный массив мощностью порядка 30 м с углом падения 20 град. и с глубиной залегания, изменяющейся от 880 до 1000 м. Моделируемая мощность кровли составляла 500 м. Воздействие немоделируемой части кровли в модели воспроизводилось с помощью пригружающего устройства. Моделируемая мощность почвы составляла 100 м.

Прочностные и деформационные характеристики эквивалентного материала, используемого при формировании модели рудопородного массива, в линейном масштабе моделирования и в масштабе удельных весов соответствовали характеристикам реального массива рудоносной интрузии и осадочных пород. Моделировались горные породы с пределом прочности на одноосное сжатие, изменяющемся в диапазоне от 80 до 130 МПа и модулем упругости, изменяющемся от 3,2 до 5,5 $\times$ 10^4 МПа.

На модели воспроизводилась структурная нарушенность рудопородного массива, сформированная системами трещин и тектоническими нарушениями. Влияние систем трещин на прочность горных пород модели учитывалась коэффициентом структурного ослабления, который для условий рудника «Октябрьский» составляет 0,5. На модели была воспроизведена реальная тектоническая нарушенность, представленная для разделительных массивов дизъюнктивными нарушениями с амплитудой менее 5-10 м. Дизъюнктивные нарушения разнонаправленными сбросами трансформировали ру-

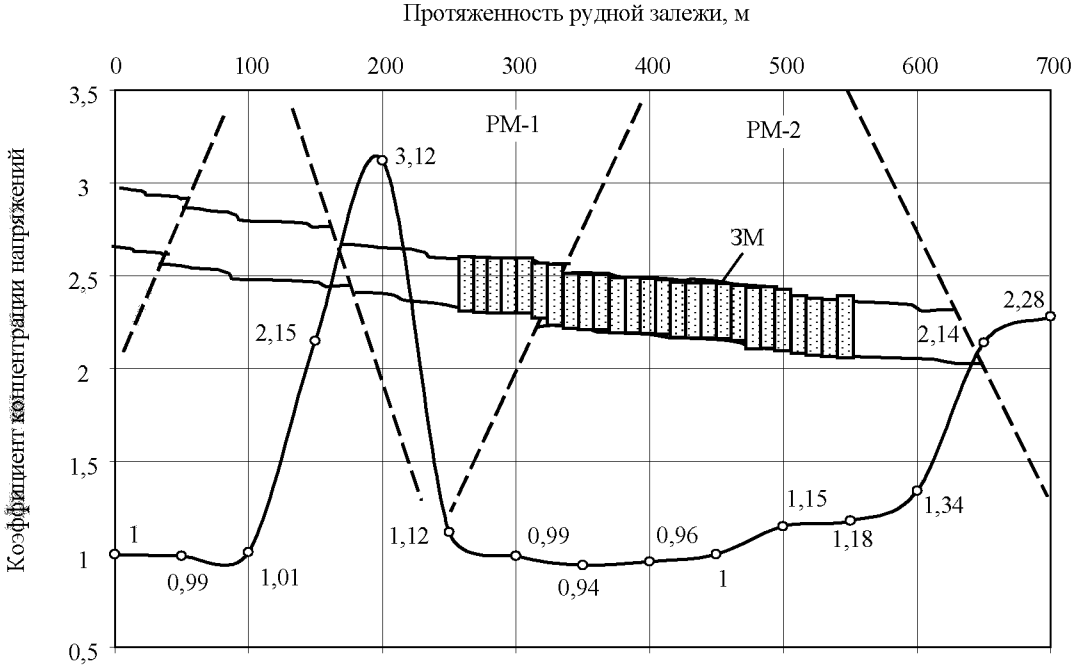


Рис.1. Напряженное состояние почвы разделительных массивов
РМ – разделительные массивы; ЗМ – закладочный массив

допородный массив в блочную систему. Плоскости тектонических нарушений, пересекаясь в почве и кровле разделительных массивов, придавали тектоническим блокам клиновидную или трапециевидную форму. В почве рудной залежи размещались микродатчики напряжений и профильные линии марок. Датчики подключались к информационно-измерительной системе СИИТ-3. Смещения марок фиксировались фотоаппаратом «CANON 620».

Рассмотрим динамику формирования напряженного состояния почвы при отработке разделительных массивов РМ-1 и РМ-2 рудника «Октябрьский».

Перед отработкой рудной залежи была проведена оценка поля первичных напряжений, наведенных в массиве модели гравитационными силами. Первичные напряжения в разделительных массивах без генезиса тектонических нарушений оценивались уровнем напряжений порядка 30,7 МПа. После формирования в массиве модели структурных нарушений поле первичных напряжений изменилось; сформировались зоны повышенных напряжений с коэффициентом концентрации, достигающим в максимуме 1,18. Зоны с таким уровнем напряжений дислоцировались в районе дизъюнктивных нарушений.

Как следует из графика, представленного на рис.1, подработка тектонических блоков, вмещающих разделительные массивы, вызывает появление в породах почвы зон повышенных техногенных напряжений. Зоны с коэффициентом концентрации техногенных напряжений, изменяющимся от 1,11 до 3,12, преимущественно формируются в почве рудного массива, расположенного в неподработанных тектонических блоках. Величина напряжений в этих зонах изменяется от 36,2 до 111,9 МПа. В подработанных блоках в почве разделительных массивов происходит снижение уровня техногенных напряжений. Релаксация напряжений вызвана тем, что массив почвы разделительных массивов подработанных блоков из объемного напряженного состояния переходит в плоское напряженное состояние и деформируется в режиме свободных деформаций, т.е. в режиме упругого восстановления.

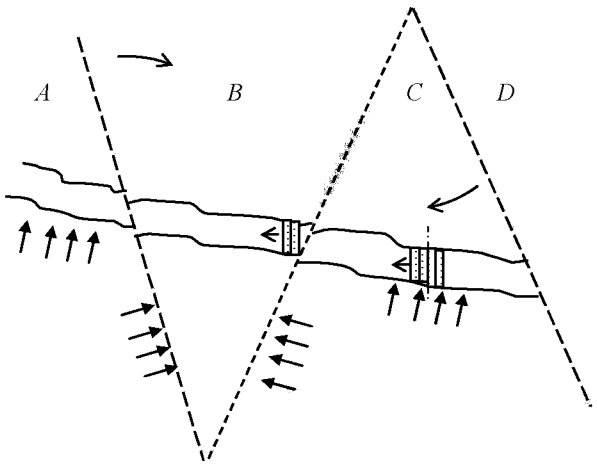


Рис.2. Механизм сдвижения блоковой структуры

Сложный характер формирования напряженного состояния почвы разделительных массивов, очевидно, вызван особым механизмом сдвижения подрабатываемых тектонических блоков. Причем при выходе тектонических блоков из условия предельного равновесия их напряженное состояние может подчиняться положениям теории штампа или теории клина (блоки *A*, *C* и *B*, *D* на рис.2).

Механизм сдвижения при подработке таких блоковых структур можно представить в следующем виде.

При полной подработке блок *C* поворачивается в сторону блока *B*, так как контактная с блоком *C* плоскость неподработанного блока *D* выполняет функцию подпорной стенки. При подработке блока *B* система блоков *C* и *B* трансформируется в кулисную блочную структуру и блок *B* начинает поворачиваться в сторону блока *C*. При этом контактная плоскость неподработанного блока *A* выполняет, как и ранее блока *D*, функцию подпорной стенки. При таком механизме сдвижения кулисной блочной структуры величины деформаций в трапециевидных блоках определяются, главным образом, величиной податливости рудного тела и усадкой закладочного массива, а в клиновидных блоках – контактными условиями со смежными блоками. Неподработанная часть блока *B*, прово-

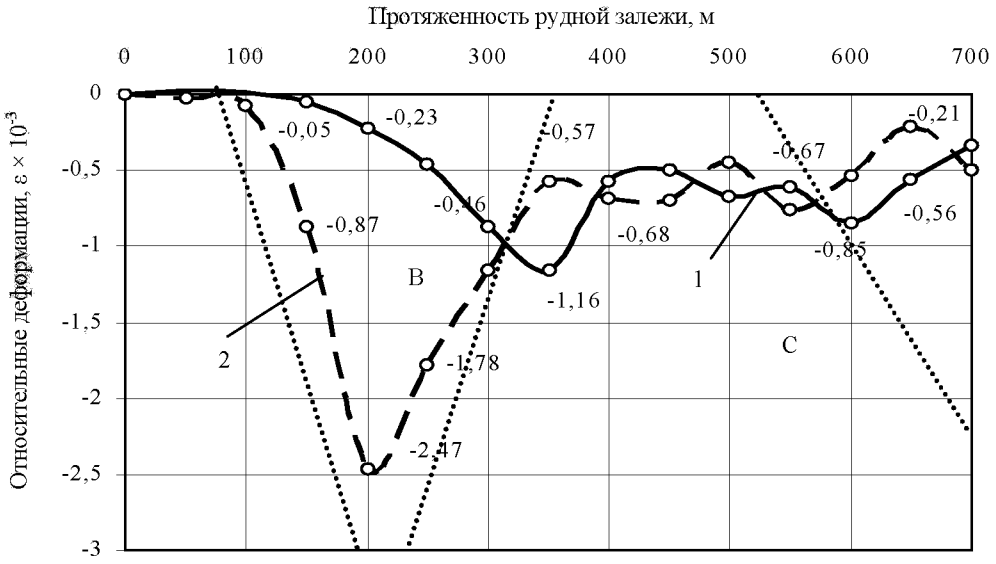


Рис.3. Графики относительных деформаций сжатия в блоковых структурах разделительных массивов

рачиваясь относительно блока *A*, деформируется в режиме стесненных деформаций, который, по нашему мнению, и является источником появления в почве разделительных массивов зон повышенных напряжений.

Появление деформаций сжатия при деформировании почвы в режиме стесненных деформаций подтверждается графиками относительных деформаций (рис.3). Подработка трапециевидного блока *B* (график 1) характеризуется появлением в почве разделительных массивов незначительных по величине горизонтальных деформаций сжатия. Величины деформаций сжатия не превышают критического значения, которое для горных пород рудников Талнаха составляет 2×10^{-3}.

После полной подработки трапециевидного блока *B* и вовлечения в подработку блока *A* характер деформирования массива почвы разделительных массивов изменяется (график 2 на рис.3). В подработанном блоке *B* уровень деформаций сжатия снижается и величины деформаций не превышают критическое значение. В неподработанной части блока *A* появляются деформации сжатия, величины которых могут превышать критическое значение.

Таким образом, моделирование на эквивалентных материалах подтверждает сложное напряженно-деформированное состояние почвы разделительных массивов. При деформировании горных пород почвы в режиме стесненных деформаций могут появляться трещины давления с выделением упругой энергии во внешнюю среду.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Отработка блоковых структур разделительных массивов глубоких рудников Талнаха сопровождается повышением сейсмоактивности массива почвы. Сейсмособытия, проявляющиеся в массиве почвы, могут оказывать сотрясательное воздействие на рудный массив.

2. Напряженное состояние почвы определяется степенью подработки блоковых структур. В почве подработанных блоков происходит релаксация напряжений, в неподработанных – повышение уровня напряженности с появлением критических деформаций сжатия.

3. Для безопасного и эффективного ведения горных работ необходимо в неподработанных блоках проводить разгрузку почвы разделительных массивов, например, бурением скважин.