УДК 622.834:551.24

Е.В.Бошенятов
ВНИМИ, Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА НА СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД
(обзор-исследование)

Рассмотрено влияние природного напряженного состояния массива горных пород. Показано существенное влияние как изотропного, так и анизотропного полей тектонических напряжений на параметры процесса сдвижения, что должно учитываться при прогнозе ожидаемых деформаций для охраняемых объектов.

The influence of natural tense massif state on rock movements is regarded. It is shown that any kind of tectonic tense makes an important influence on rock movements parametres and it must be taken into consideration while forecasting expected rock movements and deformations of protected objects.

Исходным для оценки (прогноза) напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зонах влияния подземных разработок является напряженное состояние нетронутого массива горных пород, природное напряженное состояние.

Однако в литературе по этому вопросу долгие годы господствовала гипотеза А.Н.Динника [8], согласно которой напряженное состояние нетронутого массива определялось лишь гравитационными силами. По-существу, оно не отличалось для разных регионов, не имело региональных аномалий, а поэтому, собственно, и не предвиделось возможности его регионального, аномального влияния на напряженно-деформированное состояние массива горных пород в зонах влияния горных разработок.

Интерес к вопросу влияния напряженного состояния нетронутого массива на напряженно-деформированное состояние массива горных пород в зонах влияния горных разработок резко возрос после введения в научный обиход новых фактических данных по некоторым рудным месторождениям, показывающих, что за счет тектонических напряжений горизонтальные напряжения нетронутого массива для различных регионов могут быть больше и меньше вертикальных или равны им [4,17 и др.], что существенно противоречило гипотезе А.Н.Динника.

Впервые важность тектонических напряжений, их существенную роль в процессе сдвижений и деформаций массива горных пород отмечал И.М.Бахурин [6]. Он писал, что остатки тектонических напряжений в земной коре теоретически должны оказывать большое влияние на процесс сдвижения горных пород, возникающий под влиянием горных разработок. Однако практически влияние этого фактора до сих пор не учитывалось.

Естественное напряженное состояние массива горных пород в верхней части земной коры, которое является исходным полем напряжений при решении вопросов горной геомеханики, в общем случае является результатом взаимодействия гравитационного и тектонического полей напряжений – так называемое общее поле напряжений.

Гравитационное поле напряжений характеризуется достаточным постоянством, закономерной, близкой к линейной, зависимостью от глубины как вертикальных, так и горизонтальных своих составляющих. Главная составляющая гравитационного поля напряжений направлена вертикально и по своему характеру является сжимающей. Гравитационное поле напряжений в горизонтальной плоскости характеризуется изотропностью. Главные напряжения гравитационного поля в некоторой точке массива горных пород определяются из соотношений [8]

$$\begin{aligned} \sigma_3^{\Gamma} &= \gamma H; \\ \sigma_1^{\Gamma} &= \sigma_2^{\Gamma} = \xi \gamma H, \end{aligned} \qquad (1)$$

где σ_3^{Γ} – главное напряжение гравитационного поля напряжений в вертикальном направлении; σ_1^{Γ} и σ_2^{Γ} – главные напряжения гравитационного поля напряжений в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях; γ – средний объемный вес пород массива; H – глубина рассматриваемой точки от земной поверхности; ξ – коэффициент бокового распора.

При горизонтальном и пологом залегании слоев для различных горных пород ξ определяется следующим образом [20]. В прочных упругих породах – через коэффициент Пуассона (коэффициент поперечных деформаций):

$$\xi = \frac{\mu}{1-\mu}. \qquad (2)$$

В несвязных сыпучих породах (песках, гравелитах) – через угол внутреннего трения ρ:

$$\xi = \frac{1-\sin\rho}{1+\sin\rho} = \mathrm{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right). \qquad (3)$$

В глинистых породах, вследствие их большой ползучести, коэффициент ξ характеризуется большим диапазоном изменения – от значения, определяемого по формуле (3), до приблизительно единицы (заметим, что для жидкостей, для которых характерно гидростатическое напряженное состояние, коэффициент $\xi = 1$, т.е. $\sigma_1^{\Gamma} = \sigma_2^{\Gamma} = \sigma_3^{\Gamma} = \gamma H$).

В отличие от гравитационного тектоническое поле напряжений характеризуется неоднородностью (иногда очень сильной), в различных частях земного шара оно может быть существенно различно, его главная составляющая направлена, как правило, горизонтально и может характеризоваться большими сжимающими и растягивающими напряжениями. Тектоническое поле напряжений в горизонтальной плоскости характеризуется анизотропностью.

Горизонтальные сжимающие напряжения тектонического поля напряжений могут превышать соответствующие горизонтальные составляющие напряжений гравитационного поля в десятки раз [4,7,9,11,12]. Анизотропия тектонических напряжений в горизонтальной плоскости (отношение между главными нормальными тектоническими напряжениями), например, для некоторых рудных месторождений Урала характеризуется следующими значениями: Покровское – 1:6; Северопесчанское – 1:6,4; Качкарское – 1:4; другие месторождения – от 1:3 до 1:2 [16].

Закономерности изменения горизонтальных составляющих тектонического поля напряжений с глубиной достаточно сложны и мало изучены.

Вертикальная составляющая тектонического поля напряжений, как правило, является сжимающей. Однако в районах, где оба главных тектонических напряжения в горизонтальной плоскости являются сжимающими и достаточно большими по величине, вертикальная составляющая может носить растягивающий характер. Значения вертикальной составляющей тектонического поля напряжений по абсолютной величине соизмеримы (одного порядка) и могут быть больше, меньше или равны вертикальным сжимающим напряжениям гравитационного поля напряжений.

Главные напряжения тектонического поля в некоторой точке массива горных пород могут быть определены из соотношений [18]

$$\sigma_3^{\text{т}} = \chi T_H;$$
$$\sigma_2^{\text{т}} = \psi T_H; \qquad (4)$$
$$\sigma_1^{\text{т}} = T_H,$$

где T_H – горизонтальные тектонические силы на глубине H; χ и ψ – коэффициент соответственно вертикального и горизонтального отпора в поле тектонических сил.

Таким образом, естественное напряженное состояние массива горных пород (общее поле напряжений), являющееся в общем случае суммой гравитационного и тектонического полей напряжений, можно охарактеризовать следующим.

Вертикальная составляющая напряжений обуславливается, в основном, гравитационным полем, и, по существующим представлениям, в большинстве случаев она пропорциональна γH. Однако имеются районы, в которых вертикальная составляющая может быть меньше γH, больше γH и даже (вблизи земной поверхности) иметь растягивающий характер (в районах, где горизонтальная составляющая имеет сжимающий характер и большую величину). В целом отклонения вертикальной составляющей от γH небольшие (соизмеримы с самой γH).

Горизонтальная составляющая напряжений может обуславливаться как гравитационным, так и тектоническим полем напряжений, и, по существующим представлениям, в районах действия больших горизонтальных сжимающих или растягивающих тектонических напряжений она практически (до определенной глубины) полностью определяется этими напряжениями. Схематически возможные варианты изменения максимальной горизонтальной составляющей $\sigma_г$ общего поля напряжений в зависимости от глубины от поверхности H можно представить кривыми, изображенными на рис.1. Здесь приняты следующие условные обозначения: $\sigma_{ГСМ}$ и $\sigma_{ГРМ}$ – соответственно горизонтальные сжимающие и растягивающие максимальные напряжения; $\sigma_{ГСП}$ и $\sigma_{ГРП}$ – соответственно горизонтальные сжимающие и растягивающие напряжения на поверхности (на контакте коренных пород с наносами); $H_{СМ}$ и $H_{РМ}$ – соответственно глубина, на которой проявляются $\sigma_{ГСМ}$ и $\sigma_{ГРМ}$; $H_С$ и $H_Р$ – соответственно глубина действия увеличенных сжимающих и растягивающих напряжений). По некоторым данным [11,12], $H_{СМ} \approx 200 \div 300$ м, а величина $H_С$ – порядка 1÷3 км.

В соответствии с тремя возможными видами изменения максимальных горизонтальных напряжений в массиве горных пород (см. рис.1, кривые 1-3) можно

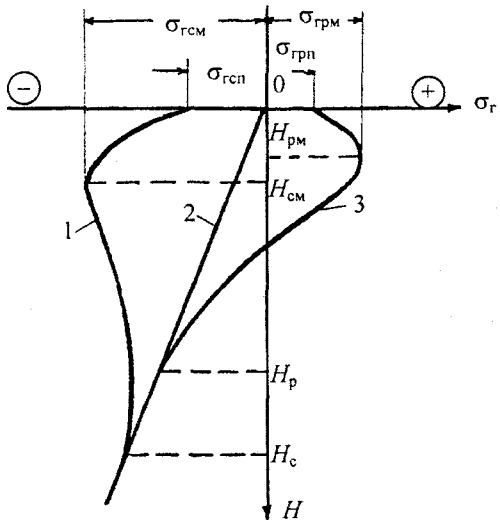


Рис. 1. Схема изменения горизонтальных напряжений ($\sigma_г$) в массиве горных пород в естественном состоянии с глубиной H
1 – при $\sigma_{гсм} << 0$; 2 – при $\sigma_{гп} = 0$; 3 – при $\sigma_{грм} > 0$

выделить и три основных вида напряженного состояния массива горных пород в естественном состоянии. При этом вертикальная составляющая напряжений в первом приближении может быть охарактеризована для всех видов напряженного состояния сжимающими напряжениями, изменяющимися прямо пропорционально глубине, а горизонтальная составляющая – кривыми 1-3 (см. рис.1), имеющими, как правило, анизотропный характер в горизонтальных сечениях.

Учитывая зависимости (1) и (4), главные напряжения общего поля напряжений массива горных пород в естественном состоянии можно найти из выражений

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \sigma_3^г + \sigma_3^т = \gamma H + \chi T_H; \\ \sigma_2 &= \sigma_2^г + \sigma_2^т = \xi\gamma H + \psi T_H; \\ \sigma_1 &= \sigma_1^г + \sigma_1^т = \gamma H + T_H, \end{aligned} \qquad (5)$$

причем

$$\begin{aligned} &1 \geq \xi > \chi \geq 0; \\ &1 \geq \xi > \psi \geq \mu; \\ &0{,}5 \geq \mu > 0. \end{aligned} \qquad (6)$$

Некоторые фактические данные о значениях коэффициентов μ и ξ для различных горных пород приведены в работах [1,9 и др.].

В последнее время в горной геомеханике (И.М.Петухов, И.М.Батугина и др.) развивается новое направление исследований – геодинамика недр, месторождений, геодинамическое районирование месторождений, цель которого – оценка напряженного состояния массива горных пород в естественном состоянии на месторождениях, разрабатывающих полезные ископаемые, до начала влияния горных работ и учет этого состояния при планировании и ведении горных работ [5,7,10,13,14]. Предполагается, что естественное поле напряжений определяется в первую очередь тектоническим полем напряжений в районе месторождения, которое, если подходить к его изучению по принципу от общего к частному, можно охарактеризовать, исходя из следующего.

Земная кора разделена на плиты. Под влиянием напряжений, действующих на границах, плиты дробятся на крупные мегаблоки, которые определенным образом взаимодействуют между собой и под влиянием напряжений, возникающих на их контактах, делятся на блоки более низкого ранга. В конечном итоге можно получить микроблочное строение массива, динамическое взаимодействие блоков в котором и будет определять естественное поле напряжений в районе месторождения. Взаимодействие и движение блоков по их границам определяют уровень напряжений в блоках, в результате которых возникают деформации внутри блока.

Такое последовательное деление позволяет подойти к оценке уровня напряжений как района разрабатываемого

месторождения, так и его отдельных участков.

Существует три типа взаимодействия границ блоков различных рангов:

– граница растяжения земной коры (спрединг, раздвиг, сброс);

– граница сжатия земной коры (субдукция, зона бениофа, надвиг, взброс);

– граница скольжения или сдвига (трансформный разлом, сдвиг).

Каждому типу границ литосферных плит – блоков соответствует своя геодинамическая обстановка, которая характеризуется определенным глубинным строением, формированием соответствующих тектонических структур, магматических, метаморфических и осадочных комплексов и связанных с ними полезных ископаемых. Зная приуроченность месторождений к границам плит, можно качественно оценить условия деформаций глобального уровня для данного участка: сжатия, растяжения или сдвига, – определить направление сдвижения плиты в районе месторождения, скорость и градиент скорости. В региональном плане напряженное состояние массива разрабатываемого месторождения можно оценить по приуроченности его к тем или иным разломам, механизм образования которых обусловлен действием тех же приложенных сил: сжатия, растяжения, сдвига или их комбинаций [10].

Согласно современным представлениям, развитие процесса сдвижения под влиянием подземных горных разработок во времени может быть представлено следующим образом.

До выемки полезного ископаемого нетронутый массив горных пород находится под действием первоначального, исходного поля напряжений, представляющего собой уравновешенную систему сил, обусловленную в общем случае гравитационным и тектоническим полями напряжений.

Выемка полезного ископаемого в определенной области вокруг очистных выработок, называемой зоной влияния, нарушает сложившееся равновесие сил, происходит изменение напряженного состояния, зависящее от уровня первоначальных исходных напряжений, параметров очистных выработок и деформационных свойств массива и сопровождаемое в соответствии с этими свойствами деформациями горных пород.

На тех участках массива, где напряжения или деформации достигают предельных значений, происходит разрушение пород, их сдвижение, оседание вплоть до выхода на земную поверхность. Этот процесс, сопровождаемый изменениями напряженно-деформированного состояния, происходит до окончания процесса сдвижения, когда образуется новое устойчивое равновесие, напряженно-деформированное состояние массива пород в зоне влияния горных разработок уже не вызывает дальнейшего разрушения пород и деформирование во времени будет происходить достаточно медленно, в основном, под влиянием деформаций ползучести.

Таким образом, движущей силой сдвижений и деформаций массива горных пород вокруг очистных выработок является первоначальное, природное напряженно-деформированное состояние и его изменения в процессе разработки месторождения.

Согласно действующим Правилам охраны [15], за окончание процесса сдвижения принимается дата, после которой

суммарные оседания земной поверхности на протяжении 6 месяцев не превышают 10 % от максимальных, но не более 30 мм.

В статье А.Г.Акимова, С.Н.Зеленцова и В.М.Тяпина [2] на основе расчетов вертикальных деформаций в зоне опорного давления по методике, приведенной в работе А.Г.Акимова и Х.Х.Хакимова [3], показано, что при увеличении природных горизонтальных напряжений в четыре раза (от -3,12 до -12,5 МПа) существенно изменились как размеры зоны опорного давления (по простиранию увеличились в 1,5 раза, в почве пласта – в 3,6 раза, в кровле пласта – уменьшились на 15 %), так и значения деформаций (вертикальные деформации сжатия увеличились в 1,7 раза). В этой же статье показано, что при высоких максимальных горизонтальных напряжениях сжатия (более -15 МПа) и уровне анизотропии свыше 1:3 возможно изменение углов сдвижения (по сравнению с рекомендованными нормативными документами): как увеличение, так и уменьшения на 5-10°.

В статье Фань Сиэ-Ли, Юй Гуан-Мин и И.М.Петухова [19], отмечается, что в области сдвижения вокруг очистной выработки реализуется процесс участия тектонических сил (напряжений) в сдвижении горных пород. Выполненные наблюдения за сдвижением земной поверхности при разработке горизонтально залегающего угольного пласта на шахте Тай Цзи (КНР) в условиях действия горизонтальных сжимающих напряжений, равных σ_1 = -53,5 МПа, показали [19], что максимальные горизонтальные сдвижения превысили максимальные оседания почти в 2 раза (соответственно 137 и 75 мм), увеличилась также область сдвижения земной поверхности, что существенно противоречит общепринятым представлениям, т.е. без учета тектонических сил.

В настоящее время имеется целый ряд наблюдательных станций на земной поверхности (Донецкий, Кузнецкий и другие бассейны), результаты измерений на которых показывают, что сумма горизонтальных сдвижений по всей мульде не равна нулю и горизонтальные сдвижения распространяются за пределы зоны влияния, что противоречит существующим представлениям о сдвижении горных пород, причем оседания за пределами зоны влияния отсутствуют. В Донецком бассейне часто фиксируются деформации вертикальных стволов, расположенных от действующих очистных выработок в плане на расстояниях, превышающих размеры области влияния по существующим представлениям (в частности, размеры зоны опорного давления в 1,5-2,0 раза). Причем даты прохождения этих очистных выработок и нарушения в стволах согласуются между собой. Аналогичные случаи отмечены и в Карагандинском бассейне. В сдвижении горных пород известны случаи аномальных отклонений углов сдвижения в относительно неизменных породах.

В практике подземной разработки месторождений нередки случаи, когда в горных выработках различной направленности проявления горного давления не одинаковы, хотя заметной анизотропии в свойствах пород не наблюдается. Особенно контрастны такие явления при динамических проявлениях горного давления. В выработках одного направления происходят стреляния пород, а выработки иного направления стоят благополучно.

Все перечисленные явления свидетельствуют о наличии тектонических по-

лей напряжений и их влиянии на процессы, происходящие в массиве горных пород и на земной поверхности при подземной разработке месторождений.

Согласно существующим представлениям о сдвижении горных пород векторы горизонтальных сдвижений в мульде сдвижения на поверхности в плане направлены в сторону очистной выработки и, как правило, к центру тяжести образовавшейся выемки (рис.2).

В 1984 г. вышла книга, один из разделов которой посвящен анализу особенностей проявления сдвижения горных пород в условиях действия тектонических полей напряжений на ряде рудных месторождений Урала [16]. В ней приведены интересные наблюдения за сдвижением земной поверхности на Северопесчанском месторождении и сопоставление этих наблюдений с исходным полем напряжений, определенным на этом месторождении.

На рис.3 показаны горизонтальные сдвижения реперов на наблюдательной станции, оборудованной Уральским филиалом ВНИМИ до начала разработки месторождения; провал, образовавшийся при разработке слепой рудной залежи мощностью около 100 м и имеющий в плане форму, близкую к кругу с радиусом R = = 105 м, и исходное поле напряжений, имеющее сжимающий анизотропный характер. Наблюдения были проведены по четырем профильным линиям до и после образования провала. Обращают на себя внимание направления векторов горизонтальных сдвижений: если на профильных линиях II и IV они направлены в сторону провала, то по профильной линии I они заметно отклоняются от предполагаемых, а на профильной линии III имеют обратное направление (в сторону массива, а не

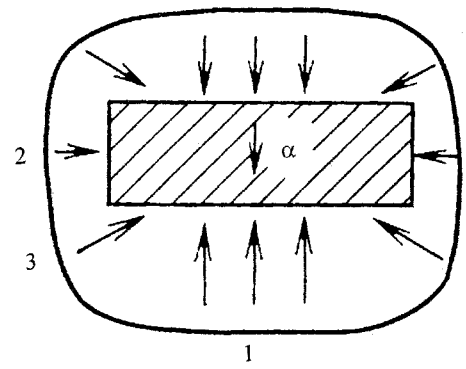


Рис.2. Направление векторов горизонтальных сдвижений в мульде сдвижения по существующим представлениям
1, 2 – в главных сечениях; 3 – в диагональных сечениях

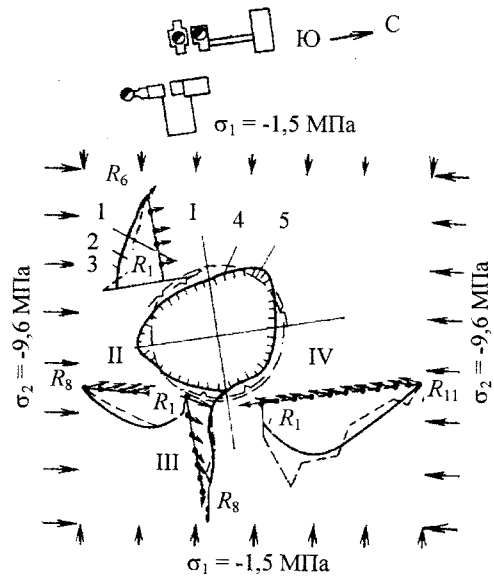


Рис.3. Горизонтальные сдвижения реперов наблюдательной станции на Северопесчанском месторождении
I, II, III, IV – профильные линии грунтовых реперов; 1 – векторы горизонтальных сдвижений; 2, 3 – измеренные и расчетные эпюры горизонтальных сдвижений реперов вдоль профильных линий; 4, 5 – провал и аппроксимирующий его круг

провала, как это предполагалось) и по всей этой профильной линии интервалы между реперами из-за образования провала претерпели сжатия.

Аналогичные наблюдения были выполнены при переопределении коорди-

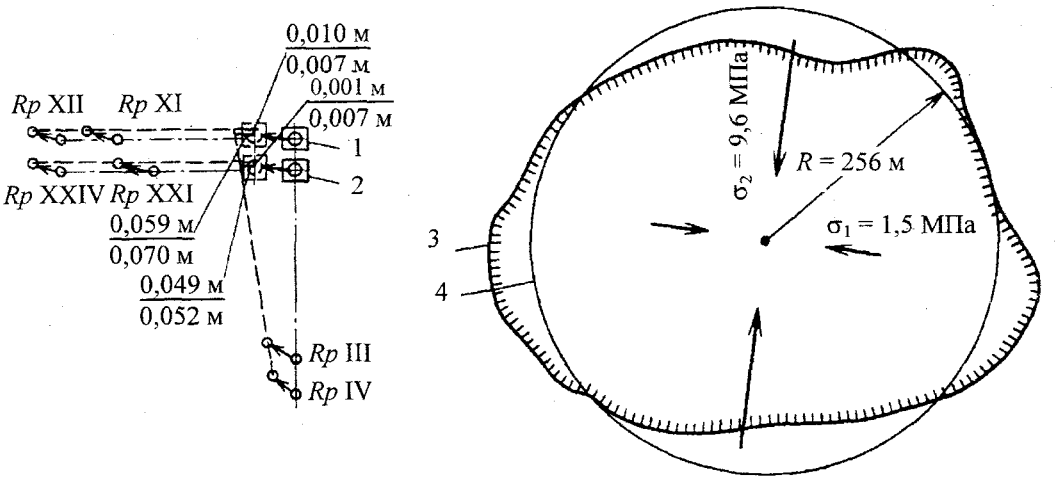


Рис.4. Горизонтальные сдвижения центральных стволов шахты Северопесчанская
1, 2 – скиповой и клетевой стволы; 3, 4 – зона обрушения и аппроксимирующий ее круг

нат опорных осевых реперов скипового и клетевого стволов Северопесчанской шахты, представленные на рис.4. Наблюдения также были проведены до и после образования провала, имеющего в плане форму, близкую к кругу с радиусом $R = 256$ м.

Представленные наблюдения показывают, что в условиях анизотропного сжимающего исходного поля напряжений в горизонтальной плоскости горизонтальные сдвижения вдоль действия главного максимального сжимающего напряжения $\sigma_1 = -9{,}6$ МПа направлены в сторону провала, образовавшейся выемки, а сдвижения вдоль действия главного минимального сжимающего напряжения $\sigma_2 = -1{,}5$ МПа – от провала, в сторону массива.

Схемы распределения векторов горизонтальных сдвижений вокруг провала круглой формы при изотропном и анизотропном поле горизонтальных напряжений показывают их существенную разницу (рис.5).

В этой же работе [16] на основе механики сплошных сред А.Д.Сашурин приводит и аналитические зависимости для прогноза горизонтальных сдвижений и горизонтальных деформаций в рассмотренных случаях, показывая достаточно хорошее совпадение измеренных и рассчитываемых величин (см. рис.3 и 4).

Однако в рассмотренной работе автор слишком узко трактует вопрос влияния напряженного состояния массива горных пород в естественном состоянии на сдвижения и деформации горных пород, понимая под этим лишь влияние анизотропного сжимающего поля тектонических напряжений в горизонтальной плоскости, имевшего место в рассмотренных выше случаях на Северопесчанском месторождении, подчеркивая, что лишь анизотропия напряжений вносит аномалии в процесс сдвижения и деформирования массива горных пород в зонах влияния горных разработок. Однако данные геомеханики и пример, приведенный в работе [19], подсказывают, что и изотропное сжимающее или растягивающее поле тектонических напряжений в горизонтальной плоскости, существенно изменяющее гравитационное поле напряжений, может вносить аномалии в развитие процесса

сдвижения. В данном случае увеличиваются или уменьшаются как горизонтальные составляющие сдвижения в краевых областях сдвижения, так и сама краевая область сдвижения, по сравнению со случаем только гравитационного поля напряжений.

Сравнивая различия влияния изотропного и анизотропного полей тектонических напряжений на процесс сдвижения горных пород, по сравнению со случаем только гравитационного поля напряжений, отметим следующие моменты:

1) изотропное поле может приводить к увеличению или уменьшению как самой краевой области сдвижения, так и горизонтальных составляющих процесса сдвижения в этой области; при этом направления векторов горизонтальных сдвижений соответствуют существующим представлениям (см. рис. 2 и 5, *а*), т.е. направлены к центру тяжести образовавшейся выемки полезного ископаемого;

2) анизотропное поле может дополнительно приводить к изменению и направлений векторов горизонтальных сдвижений по сравнению с существующими представлениями (см. рис.3, 4 и 5, *б*).

Трактуя вопрос еще шире, можно утверждать, что всем возможным видам напряженного состояния массива горных пород в естественном состоянии, существенно отличающимся от гравитационного поля, будут соответствовать свои аномалии процесса сдвижения, свое влияние на процесс сдвижения.

Учитывая вышесказанное и в соответствии с тремя основными видами исходного поля напряжений в массиве горных пород в естественном состоянии при изотропном поле напряжений в горизонтальной плоскости (см. рис.1), на рис.6 представлены три геомеханические схемы сдвижения.

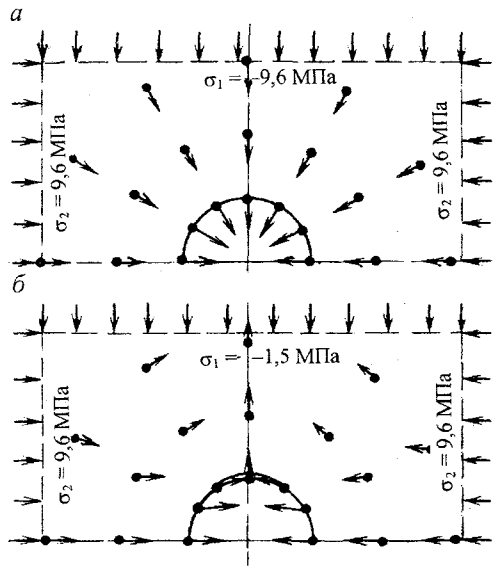


Рис.5. Распределение векторов горизонтальных сдвижений вокруг провала круглой формы:
а – при изотропном поле горизонтальных напряжений;
б – то же, при анизотропном

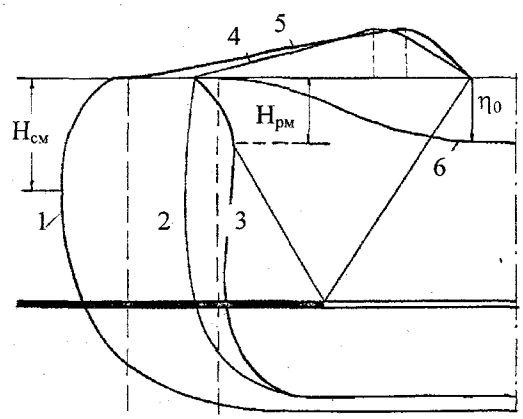


Рис.6. Новые геомеханические схемы сдвижения, учитывающие различные виды напряженного состояния массива горных пород в естественном состоянии (см. рис. 1) при изотропном поле напряжений в горизонтальной плоскости
1 – при $\sigma_{гсм} << 0$; 2 – при $\sigma_{гп} = 0$; 3 – при $\sigma_{грм} > 0$;
4 – кривая горизонтальных сдвижений для схем 2 и 3;
5 – то же, для схемы 1; 6 – кривая оседаний для схем 1–3

Сущность приведенных геомеханических схем заключается в том, что при проведении очистной выработки в массиве горных пород, имеющем в исходном

состоянии в горизонтальной плоскости напряжения в соответствии с рис.1 (при этом вертикальные напряжения считаем во всех трех случаях одинаковыми и соответствующими γH), разгрузка массива в горизонтальном направлении будет различной, что может существенно изменить как общий размер области влияния очистной выработки, так и распределение сдвижений и деформаций в массиве горных пород. По-видимому, этот эффект имеет существенное значение лишь для краевой части области сдвижения и зоны опорного давления, расположенной над целиком, и для массива в большей степени, чем для земной поверхности, так как тектонические силы действуют в коренных породах и их максимум располагается в массиве. Для массива, расположенного непосредственно над выработкой, этот эффект играет меньшую роль. Рассмотрим геомеханические схемы, приведенные на рис.6.

При наличии в естественном массиве горных пород только гравитационного поля напряжений, главные напряжения которого определяются из соотношений (1), а величина и изменение горизонтальной составляющей напряжений соответствует кривой 2 (см. рис.1), после проведения очистной выработки разгрузка массива горных пород в горизонтальном направлении со стороны краевой части области сдвижения незначительна, процесс сдвижения определяется, в основном, гравитационными силами и происходит обычным образом (рис.6, схема 2), как это описано в литературе по сдвижению. В частности, области влияния очистной выработки по оседаниям и горизонтальным сдвижениям совпадают (см. кривую оседаний 6 и кривую горизонтальных сдвижений 4 для схемы 2 на рис.6).

При наличии в естественном массиве горных пород больших горизонтальных сжимающих напряжений (см. рис.1, кривая 1) после проведения очистной выработки происходит значительная разгрузка массива горных пород в горизонтальном направлении со стороны краевой части области сдвижения, расположенной над целиком, в сторону очистной выработки. Эта разгрузка приводит к дополнительным горизонтальным сдвижениям массива над целиком в сторону очистной выработки. В этом случае процесс сдвижения определяется не только гравитационными, но и тектоническими силами. В результате за счет дополнительных горизонтальных сдвижений область влияния очистной выработки по горизонтальным сдвижениям существенно увеличивается, а по оседаниям остается практически такой же, как и при схеме 2 (см. кривую оседаний 6 и кривую горизонтальных сдвижений 5 для схемы 1 на рис.6). При этом и точка максимальных горизонтальных сдвижений в схеме 1 может сместиться относительно своего положения в схеме 2. В связи с большими исходными горизонтальными сжимающими напряжениями в этой схеме увеличивается и глубина разгрузки в части области влияния, расположенной под очистной выработкой, т.е. увеличивается эта часть области влияния очистной выработки.

Третья схема сдвижения (рис.6), соответствующая тому случаю, когда в массиве горных пород в естественном состоянии в горизонтальной плоскости действуют растягивающие напряжения (рис.1, кривая 3), имеет гораздо меньшее значение и влияние, по сравнению со схемой 1, на область сдвижения, поскольку, как известно, горные породы имеют низкий пре-

дел прочности на растяжение, который в среднем на порядок меньше предела прочности на сжатие, что не позволяет создаваться в массиве горных пород в естественном состоянии больших растягивающих напряжений. Поэтому эта схема имеет существенное значение, по-видимому, только для крепких скальных нетрещиноватых пород, имеющих высокий предел прочности на растяжение. Однако и для осадочных пород она имеет определенное значение, позволяющее уточнить область влияния очистной выработки. Механизм действия этой схемы сдвижения заключается в том, что после проведения очистной выработки разгрузка массива в горизонтальном направлении в сторону очистной выработки не происходит совсем, а в отдельных случаях может даже происходить сжатие, т.е. горизонтальные сдвижения массива в обратном направлении. Поэтому при развитии сдвижения по схеме 3 область влияния очистной выработки, по сравнению со схемой 2, несколько уменьшается (рис.6, схема 3). Области влияния очистной выработки по оседаниям и горизонтальным сдвижениям практически совпадают (см. кривую горизонтальных сдвижений 4 и кривую оседаний 6 на рис.6).

Выводы

1. Предложена наиболее вероятная гипотеза изменения горизонтальных напряжений в массиве горных пород в естественном состоянии в зависимости от глубины (рис. 1), на основании которой составлены три новые геомеханические схемы сдвижения для изотропного поля тектонических напряжений в горизонтальной плоскости (см. рис.6).

2. Существенное влияние (по сравнению с существующими представлениями) на характер и проявления процесса сдвижения горных пород вокруг очистных выработок может оказывать как изотропное, так и анизотропное поля тектонических напряжений; при этом изотропное поле может приводить к увеличению или уменьшению как самой краевой области сдвижения (в частности, углов сдвижения до 10°), так и значений сдвижений и деформаций (до 50-100 %); анизотропное поле дополнительно может изменять и направление векторов сдвижения (вплоть до противоположенного существующим представлениям).

3. Выполненный обзор и проведенные исследования однозначно показывают, что проблема влияния природных тектонических напряжений на характер и проявления процесса сдвижения горных пород вокруг очистных выработок является актуальной и носит весьма существенный характер. С целью более надежного прогноза ожидаемых сдвижений и деформаций для охраняемых объектов на земной поверхности и в массиве в зонах влияния подземных разработок необходимы совместные исследования специалистов сдвиженческого и геодинамического профилей. Такого же мнения придерживаются многие процитированные выше авторы [2,6,13,14,16,19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Айзаксон Э.* Давление горных пород в шахтах: Пер. с англ. М.: Госгортехиздат, 1961. 176 с.

2. *Акимов А.Г.* Влияние естественной тектонической напряженности массива на параметры и величины сдвижений и деформаций горных пород / А.Г.Акимов, С.Н.Зеленцов, В.М.Тяпин //

Горное давление, горные удары и сдвижение массива: Сб. науч. тр. / ВНИМИ. СПб, 1996. С. 3-8.

3. *Акимов А.Г.* Обеспечение безопасной эксплуатации шахтных стволов / А.Г.Акимов, Х.Х.Хакимов. М.: Недра, 1988. 216 с.

4. *Батугин С.А.* Стреляние горных пород на Таштагольском железнорудном месторождении / С.А.Батугин, А.Т.Шаманская // Труды ВНИМИ. 1968. № 68. С. 461-471.

5. *Батугина И.М.* Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников / И.М.Батугина, И.М.Петухов. М.: Недра, 1988. 166 с.

6. *Бахурин И.М.* Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1946. 231 с.

7. Геодинамическое районирование недр: Методические указания / Под ред. И.М.Петухова, И.М. Батугиной; ВНИМИ. Л., 1990. 123 с.

8. *Динник А.Н.* О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты // Инж. работник. 1925. № 7. С. 1-12.

9. *Кацауров И.Н.* Механика горных пород. М.: Недра, 1981. 161 с.

10. Методические указания по профилактике горных ударов с учетом геодинамики месторождений / ВНИМИ. Л., 1983. 118 с.

11. *Михайличенко Ф.Ф.* Влияние состояния образцов горных пород, извлеченных из глубины, на их физико-механические свойства / Ф.Ф.Михайличенко, И.И.Катков // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 69-73.

12. *Михайличенко Ф.Ф.* Исследование физических свойств пород при разведке / Ф.Ф.Михайличенко, И.И.Катков // Разведка и охрана недр. 1982. № 3. С. 51-52.

13. *Петухов И.М.* Геодинамика недр / И.М.Петухов, И.М.Батугина. М.: Недра, 1996. 218 с.

14. *Петухов И.М.* Геодинамика недр / И.М.Петухов, И.М.Батугина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра коммюникейшенс ЛТД. 1999. 256 с.

15. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок. СПб, 1998. 291 с. (Минтопэнерго РФ, РАН. ГосНИИ горн. геомех. и маркшейд. дела. – Межотраслевой научн. центр – ВНИМИ).

16. *Сашурин А.Д.* Особенности проявления сдвижения горных пород в условиях тектонических полей напряжений // Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках. М.: Недра, 1984. С. 195-237.

17. *Турчанинов И.А.* О проявлениях горного давления в капитальных и подготовительных выработках на апатитовом руднике Расвумчор / И.А.Турчанинов, Г.А.Марков, В.И.Иванов // Технология разработки рудных месторождений Заполярья. М.-Л.: Наука, 1964. С. 71-74.

18. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И.А.Турчанинов, М.А.Иофис, Э.В.Каспарьян. Л.: Недра, 1977. 504 с.

19. *Фань Сиэ-Ли.* К изучению влияния тектонических напряжений земной коры на сдвижение горных пород при подземных разработках / Фань Сиэ-Ли, Юй Гуан-Мин, И.М.Петухов // Горное давление, горные удары и сдвижение массива: Сб. науч. тр. ВНИМИ. СПб, 1994. Ч. 1. С. 150-156.

20. *Фисенко Г.Л.* Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М.: Недра, 1976. 272 с.