

*На правах рукописи*

**СОСУНОВ Юрий Александрович**



**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ  
СДВИЖЕНИЕМ И ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ  
ОТРАБОТКЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ  
НА СЛЕПЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ЗАЛЕЖАХ**

Специальность 25.00.20. "Геомеханика, разрушение пород взрывом,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика".

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2003 г.

Работа выполнена в Московском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
А.Б. Макаров

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ю.А. Боровков  
кандидат технических наук, доцент  
Г.В. Орлов

Ведущее предприятие: Государственный научно-исследовательский,  
проектный и конструкторский институт  
горного дела и металлургии цветных металлов  
(ГИПРОЦВЕТМЕТ)

Защита состоится 22 мая 2003 г. в 11 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.121.08 по адресу 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая 23, в ауд. 687 в Московском государственном геологоразведочном университете.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГГРУ.

Автореферат разослан «16» апреля 2003 г.

И.о. ученого секретаря  
диссертационного совета,  
доктор техн. наук, профессор



Небера В.П.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** В настоящее время все шире практикуется выемка запасов руды из предохранительных целиков. При этом, как правило, управление сдвижением горных пород осуществляется закладкой выработанного пространства. Использование закладки в качестве горной меры охраны сооружений не всегда экономически эффективно, особенно при средней ценности руд. Например, на Иртышском месторождении около 40% запасов рядовых по ценности руд находится в предохранительных целиках стволов шахт. Низкая рентабельность отработки данных запасов системами с закладкой выработанного пространства привела к полной остановке производства на Иртышском руднике в середине 90-х годов. В таких ситуациях альтернативой является погашение выработанного пространства обрушением, а для обеспечения сохранности стволов шахт необходимо выбрать и обосновать другие горные меры охраны. Возможность их применения должна быть обоснована специальными геомеханическими исследованиями. Это позволит обеспечить рентабельность разработки месторождения путем снижения себестоимости добычи руды на 15–20% за счет исключения затрат на закладку.

При разработке слепых крутопадающих залежей линзовидной формы особое значение имеет определение углов сдвижения по простиранию, по которым определяются размеры предохранительных целиков стволов шахт. Необоснованное увеличение размеров предохранительных целиков приводит к росту затрат на отработку запасов в контуре целика.

На глубоких горизонтах крутопадающих залежей геомеханическая ситуация определяется тем, что вышележащая часть залежи уже отработана. Нижние горизонты, находящиеся под выработанным пространством, оказываются в зоне опорного давления. Это приводит к разрушению выработок и, как следствие, высокому травматизму. В данной ситуации для обеспечения безопасности горных работ при разработке крутопадающих залежей на глубоких горизонтах необходимо применение дополнительных мер по управлению горным давлением.

Из сказанного выше следует, что обоснование способов управления сдвижением и горным давлением при отработке предохранительных целиков стволов шахт на слепых крутопадающих залежах является актуальной задачей.

**Цель работы** - обеспечение экономической эффективности и безопасности извлечения запасов из предохранительных целиков с погашением выработанного пространства обрушением путем обоснования способов управления сдвижением и горным давлением.

**Основная идея работы** заключается в том, что экономическая эффективность и безопасность извлечения запасов из предохранительных целиков достигается за счет применения в качестве горной меры охраны стволов шахт ленточных барьерных целиков по падению залежи, ограничивающих зону сдвижения вмещающих пород замкнутыми областями.

#### **Задачи исследований:**

1. Установить основные закономерности процесса сдвижения при разработке слепых крутопадающих залежей небольшой мощности для обоснования мер охраны шахтных стволов при переходе на системы с обрушением вмещающих пород.

2. Для определения размеров предохранительных целиков при разработке слепых крутопадающих залежей установить зависимость углов сдвижения по простиранию от геометрии выработанных пространств.

3. Выбрать и обосновать мероприятия по управлению горным давлением и обеспечению безопасности горных работ на глубоких горизонтах слепых крутопадающих залежей.

**Методы исследований.** Анализ практического опыта разработки Иртышского месторождения, результатов наблюдений за процессом сдвижения на рудных месторождениях и литературных источников, численное моделирование геомеханических процессов и расчетно-аналитические методы определения напряжений на контуре выработки, статистические методы анализа данных.

### ***Научные положения, выносимые на защиту:***

1. Управление процессом сдвижения горных пород при отработке предохранительных целиков с погашением выработанного пространства обрушением и охрана стволов шахт осуществляется оставлением ленточных барьерных целиков по падению залежи, которые препятствуют развитию общей зоны сдвижения горных пород, ограничивая ее замкнутыми областями.

2. При отработке слепых крутопадающих залежей углы сдвижения по простиранию изменяются по логарифмическому закону, приближаясь к  $90^\circ$  при больших соотношениях эквивалентного пролета обнажения к выемочной мощности.

3. Предельная глубина, ниже которой отработка крутопадающих залежей должна вестись с применением дополнительных мер по управлению горным давлением, определяется концентрацией горизонтальных напряжений в зоне опорного давления, величина которых линейно зависит от пролета выработанного пространства по падению и расстояния от земной поверхности до верхней границы горных работ.

***Достоверность*** научных положений, выводов и рекомендаций достигнута большим объемом натуральных данных для получения статистически значимых зависимостей, обоснована сходимостью параметров процесса сдвижения, полученных численным моделированием и натурными наблюдениями, соответствием параметров, полученных в результате расчета, наблюдаемым в природе проявлениям горного давления.

### ***Научная новизна работы:***

1. Предложен новый способ оценки величин горизонтальных смещений массива по глубине по результатам профилировок шахтных стволов.

2. Обоснован способ управления сдвижением горных пород путем оставления ленточных барьерных целиков по падению залежи; предложена методика расчета новой горной меры охраны стволов шахт.

3. Установлена новая зависимость между углами сдвижения по простиранию и геометрическими параметрами выработанного пространства слепых крутопадающих залежей.

4. Предложена новая методика определения предельной глубины, ниже которой отработка слепых крутопадающих залежей должна вестись с применением дополнительных мер по управлению горным давлением.

**Практическое значение работы** состоит в обосновании изменения горных мер охраны шахтных стволов и способа управления горным давлением при отработке глубоких горизонтов слепых крутопадающих залежей.

**Реализация работы.** Полученные в работе результаты вошли в «Технологический регламент на разработку нижних горизонтов Иртышского рудника», согласованный с органами Госгортехнадзора Республики Казахстан. Обоснованный способ управления сдвижением в контуре предохранительных целиков путем оставления барьерных целиков по падению залежи и обрушением вмещающих пород между ними внедрен в производство и в настоящее время на Иртышском руднике является основным.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение на конференциях: «Проблемы комплексного освоения рудных и нерудных месторождений Восточно-Казахстанского региона» (г. Усть-Каменогорск, 2001 г.), «Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых в начале XXI века» (г. Москва, 2001 г.) и «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2002 г.).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 8 работ, в которых изложены основные положения диссертационной работы.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 15 таблиц, список использованной литературы из 117 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Вопросы сдвижения и деформирования массива горных пород рассматривали в своих трудах С.Г. Авершин, А.Г. Акимов, И.М. Бахурин, В.И. Борщ-Компоницец, В.В. Бирюков, А.С. Ведяшкин, В.Н. Земисев, С.Н. Зеленцов, М.А. Иофис, Д.А. Казаковский, Д.М. Казикаев, Ю.А. Кашников, В.А. Квочин, В.И. Коваленко, М.В. Коротков, С.П. Колбенков, Г. Кратч, Г.Н. Кузнецов, М.А. Кузнецов, А.Н. Медянцеv, Р.А. Муллер, И.А. Петухов, В.П. Самарин, А.Д. Сашурин, В.Д. Слесарев, И.А. Турчанинов, Ю.Б. Файнштейн, А.Г. Шадрин, и многие другие ученые. Однако изученность процесса сдвижения горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях еще недостаточна. Актуальность исследований этих вопросов на Иртышском руднике обусловлена необходимостью разработки новых мер охраны стволов шахт при отработке предохранительных целиков с обрушением.

Иртышское полиметаллическое месторождение находится в центральной части Березовско-Белоусовского рудного поля. Падение и простираие рудных залежей согласно вмещающим породам: простираие 310-325°, падение – на северо-восток с углами 54-90°. Основная залежь представляет собой крутопадающее пластообразное тело сложной морфологии длиной по простираию (ниже 8 гор.) до 1250 м со средней мощностью 3,9 м (от 2,3 до 5,2 м). Падение залежи преимущественно крутое (80-85°) на северо-восток, за исключением отдельных участков. В область влияния подземных разработок попадают стволы и сооружения промплощадок шх. "Вспомогательная" и РЭШ.

К началу 90-х годов Основная залежь была отработана до 9 горизонта системами подэтажных штреков, с магазинированием руды, горизонтальных слоев с комбинированной закладкой выработанного пространства. В настоящее время после длительного перерыва добыча руды возобновлена на 10 и 11 горизонтах с обрушением вмещающих пород.

Инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности при отработке Основной залежи Иртышского рудника систематически проводились ВНИМИ на начальном этапе существования

рудника. В настоящее время для контроля состояния деформирующейся толщи пород и земной поверхности в пределах предохранительного целика шах. «Вспомогательная» используются 3 профильных линии в квершлагах 3, 4 и 6 горизонтов, а также одна профильная линия на земной поверхности. Накопленных данных явно недостаточно для определения основных закономерностей и параметров процесса сдвижения при разработке залежей с обрушением вмещающих пород. Для установления параметров процесса сдвижения при разработке Иртышского месторождения с обрушением необходимо определить прочностные и упругие свойства массива горных пород и закладки а также природное поле напряжений.

**Прочностные и упругие свойства массива горных пород.** Лабораторные испытания образцов пород в большом объеме проводились ВНИМИ, ВНИИцветмет. Учитывая, что разница в свойствах породисячего и лежащего бока не выходит за пределы их естественной пространственной изменчивости, нами определены средневзвешенные значения свойств для всего массива вмещающих пород. Переход от свойств пород и руды в образце к свойствам в массиве выполнен с помощью коэффициента структурного ослабления  $K_w$ , найденного для условий Иртышского рудника по методике Ю.П. Щуплецова. Полученные значения составили: для пород  $K_w = 0,36$  и для руд  $K_w = 0,63$ .

**Прочностные и упругие свойства закладки** определялись лабораторными испытаниями образцов. Связь между прочностями закладки на сжатие  $\sigma_{сж}$  и растяжение  $\sigma_p$  с коэффициентом корреляции 0,81 описывается экспериментально установленной зависимостью:

$$\sigma_p = 1,45 \cdot [1 - \exp(-\sigma_{сж}/5,51)] \quad (1)$$

Связь между модулем упругости закладки  $E$  и ее прочностью на сжатие описывается регрессией (коэффициент корреляции 0,82):

$$E = 0,05 \sigma_{сж}, \times 10^3 \text{ МПа} \quad (2)$$

Принятые в дальнейших расчетах упругие и прочностные свойства массивов горных пород и закладки приведены в табл. 1.



Свойства	Породы	Руда	Закладка
Плотность, кН/м <sup>3</sup>	28	42	18
Модуль упругости, МПа	$2,6 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$
Коэффициент Пуассона	0,14	0,26	0,25
Модуль сдвига, МПа	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$0,16 \cdot 10^3$
Прочность на растяжение, МПа	3,5	9,1	1,0
Прочность на сжатие, МПа	24,9	88,5	7,1

**Определение природного поля напряжений.** Напряженное состояние нетронутого массива горных пород на Иртышском месторождении можно оценить по данным наблюдений за процессом сдвижения на земной поверхности. Для этого необходимо определить положение линии максимальных оседаний. По данным Макарова А.Б. и Юна Р.Б. положение этой линии зависит от природного поля напряжений, существовавшего в массиве до начала горных работ. При коэффициенте бокового давления в массиве  $\lambda > 1$  линия максимальных оседаний отклоняется от нормали к плоскости рудного тела в сторону падения. При  $\lambda < 1$  линия максимальных сдвижений отклоняется от нормали в сторону восстания.

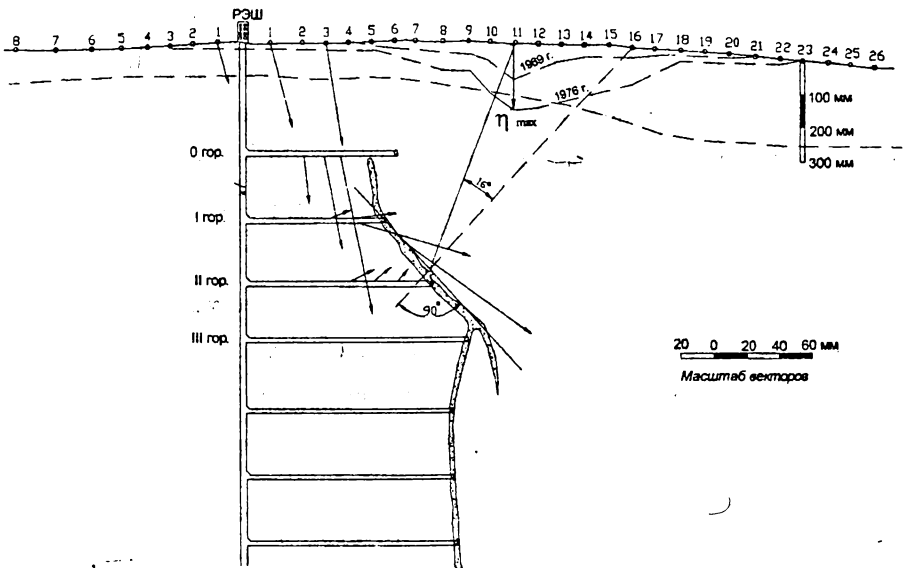


Рис 1. Результаты наблюдений за сдвижением по оси ствола РЭШ

На рис. 1 показаны результаты наблюдений С.Н. Зеленцова (ВНИМИ) за сдвижением поверхности и толщи пород по профильным линиям на земной поверхности и в кваршлагах РЭШ. По результатам натуральных наблюдений линия максимальных оседаний отклоняется от нормали в сторону восстания залежи. Это говорит о том, что  $\lambda < 1$ . Определить коэффициент бокового давления можно по предложенной нами формуле:

$$\lambda = \frac{\sin 2\alpha - 2\operatorname{tg}\psi \cdot \cos^2\alpha}{\sin 2\alpha + 2\operatorname{tg}\psi \cdot \sin^2\alpha} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол падения рудного тела;  $\psi$  – отклонение линии максимального оседания от нормали к плоскости рудного тела.

Используя выражение (3) и имеющиеся натурные данные ( $\alpha = 50^\circ$  и  $\psi = 16^\circ$ ), установлено, что на Иртышском месторождении коэффициент бокового давления вкрест простирания залежей составляет  $\lambda = 0,6$ .

По полученным нами данным об упругих и прочностных свойствах массива (табл. 1) было проведено численное моделирование процесса сдвижения горных пород. Моделировалась отработка залежи на первых 3 горизонтах (рис. 1) при различных коэффициентах бокового давления в нетронутом массиве. По результатам расчетов наибольшее соответствие расчетных и измеренных смещений массива достигается при коэффициенте бокового давления  $\lambda = 0,6$ . Следовательно, можно считать, что вертикальная составляющая природного поля равна гравитационному давлению налегающей толщи  $\gamma H$ , а горизонтальные напряжения, действующие вкрест простирания рудных залежей, составляют  $0,6\gamma H$ .

Полученные данные о механических свойствах массива и его исходном напряженном состоянии далее использованы в численном моделировании процесса сдвижения для определения его основных закономерностей и параметров, необходимых для выбора и обоснования мер охраны шахтных стволов.

**Определение деформаций шахтных стволов численным моделированием.** Для определения деформаций шахтных стволов проведены расчеты напряженно-деформированного состояния массива горных пород в разрезах вкрест простирания по осям стволов шахт. Проверить адекватность численной модели реальным условиям можно сопоставлением расчетных и наблюдаемых в натуральных условиях смещений земной поверхности и деформаций массива. На рис. 2 представлены оседания земной поверхности по оси шах. «Вспомогательная», полученные по результатам инструментальных наблюдений и моделирования. Как видно по графику, моделирование дает результаты близкие к фактическим.

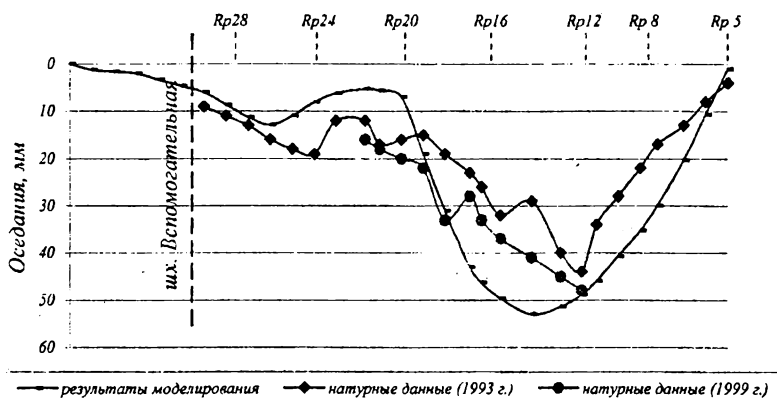


Рис. 2. Оседания земной поверхности после отработки 10 горизонта

По наблюдениям ВНИМИ в квершлага 4 горизонта горизонтальная деформация растяжения массива, примыкающего к стволу шах. «Вспомогательная», составила  $\varepsilon = 0,2$  мм/м. Расчетная горизонтальная деформация растяжения массива в интервале, который по месту расположения в массиве и длине соответствует профильной линии в квершлага 4 горизонта, равна  $\varepsilon = 0,24$  мм/м. Таким образом, результаты расчета практически совпадают с данными натурных наблюдений ВНИМИ.

Основные закономерности сдвижения массива, полученные по результатам численного моделирования, представлены на рис. 3.

шх. *Вспомогательная*

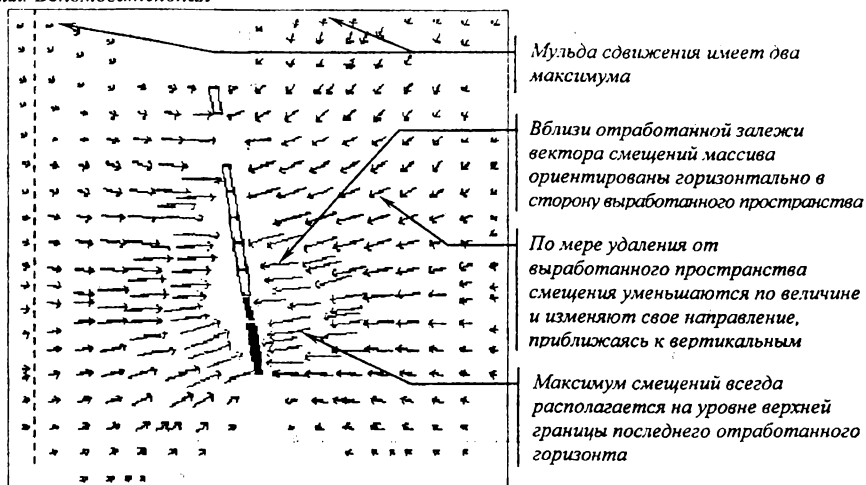
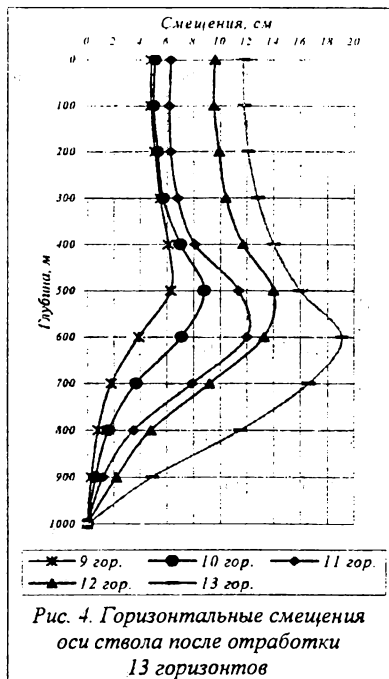


Рис. 3. Основные закономерности смещения массива при отработке 11 – 13 горизонтов с обрушением вмещающих пород

В результате моделирования получены следующие величины ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности по оси шх. «Вспомогательная» после отработки 11-13 горизонтов Основной залежи с обрушением (рис. 3): максимальное оседание земной поверхности – 62 мм; оседание поверхности в районе устьев стволов – 15 мм; наклоны поверхности в районе устьев стволов – 0,05 мм/м; горизонтальные смещения устья ствола – 78 мм; отклонения оси ствола от вертикали после отработки 13 горизонта – 0,16 мм/м; наклоны ствола близки к допустимым (0,2 мм/м).

Геомеханическая ситуация в контуре предохранительного целика РЭШ отличается тем, что он расположен ближе к Основной залежи, чем ствол шх. «Вспомогательная»; горные работы были начаты с 1 горизонта с глубины порядка 100 м. Результаты расчета показывают, что общий характер сдвижения массива горных пород остался прежним: вблизи выработанного пространства доминируют субгоризонтальные смещения в сторону отработанной части залежи; по мере удаления от выработанного пространства вектора смещений становятся наклонными. Расчетные эпюры горизонтальных смещений массива по оси ствола РЭШ приведены на рис. 4.



В интервале глубин 400–600 м расчетные величины горизонтальных смещений массива после отработки 13 горизонта увеличиваются с 140 мм до 192 мм. Возникающее при этом отклонение оси ствола от вертикали превышает допустимые в 1,3 раза.

По результатам численного моделирования сделан вывод о том, что отработка нижних горизонтов в контуре предохранительных целиков шах. "Вспомогательная" и РЭШ с обрушением вмещающих пород допустима только при принятии дополнительных мер охраны стволов.

Для наблюдений за горизонтальным сдвижением массива, предложено использовать в качестве вертикальной профильной линии шахтный ствол, положение оси которого периодически контролируется профилировками армировки ствола. По профилировкам можно проследить закономерности изменения горизонтальных смещений массива по глубине и развитие процесса сдвижения во времени. Особое значение использование профилировок стволов имеет при разработке крутопадающих слепых рудных залежей, т.к. возникающие при этом горизонтальные смещения преобладают над вертикальными.

На рис. 5 представлены результаты расчета горизонтальных смещений оси ствола шахты «Вспомогательная», полученные по профилировкам. Эти данные можно сопоставить с результатами натуральных наблюдений за сдвижением. По результатам натуральных наблюдений горизонтальные смещения поверхности в районе устья ствола составляют 35 мм. Смещения массива на уровне 4 горизонта (глубина 250 м) – 30 мм. По профилировкам смещения

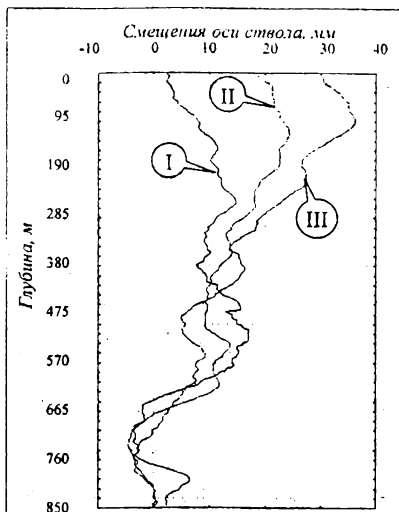


Рис. 5. Горизонтальные смещения оси ствола шах. «Вспомогательная» в сторону выработанного пространства по результатам профилировок I – 1979 г., II – 1986 г., III – 2000 г.

составляют 32 и 27 мм соответственно. Полученные результаты также согласуются с результатами моделирования.

Хорошая сходимость результатов позволяет сделать вывод о том, что использование профилировок стволов, как метода оценки параметров сдвижения ствола, вполне допустимо. Проведенная оценка точности определения горизонтальных смещений массива по данным профилировок ( $\pm 10$  мм) также позволяет считать результаты профилировок приемлемыми для оценки горизонтальных смещений массива.

**Определение углов сдвижения по простиранию.** От углов сдвижения по простиранию, зависят размеры предохранительных целиков. В действующих «Правилах охраны сооружений...» рекомендуется принимать угол  $\delta = 75^\circ$  без учета конфигурации обрабатываемых залежей. В качестве показателя, учитывающего геометрические параметры рудного тела, предложено использовать отношение эквивалентного пролета выработанного пространства  $l_k$  к выемочной мощности залежи  $m$ , которое характеризует форму рудных тел.

Изометричные залежи типа штокверков, у которых значения мощности сопоставимы с эквивалентным пролетом, имеют соотношение  $l_k/m$ , близкое к единице. При разработке таких залежей процесс сдвижения развивается по простиранию примерно так же интенсивно, как и вкрест простирания. Это означает, что процесс сдвижения горных пород имеет объемный характер, развивается от выработанного пространства во всех направлениях. Следовательно, углы сдвижения по простиранию при разработке изометричных залежей должны быть относительно пологими, сопоставимыми с углами сдвижения по падению. Залежи лентообразной линзовидной формы имеют

соотношение  $l_1/m$ , значительно превышающее единицу. При разработке протяженных залежей средней и малой мощности процесс сдвижения развивается, в основном, висячем и лежащем боках залежи и практически не развивается по простиранию. Это связано с тем, что в подобных условиях реализуются условия плоской деформации, при которой отсутствуют смещения по простиранию залежи. Чем больше соотношение  $l_1/m$ , тем ближе характер развития процесса сдвижения горных пород к условиям плоского деформирования. Это означает, что углы сдвижения по простиранию должны увеличиваться, приближаясь к вертикали. Имеющиеся практические данные

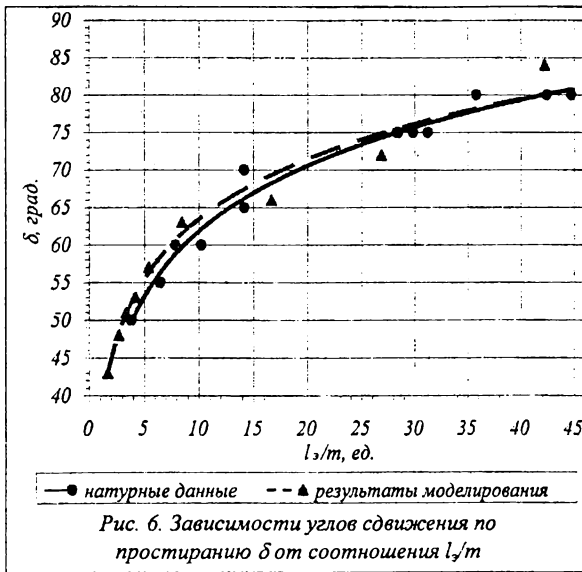


Рис. 6. Зависимости углов сдвижения по простиранию  $\delta$  от соотношения  $l_1/m$

ВНИМИ позволяют проверить приведенные выше предположения экспериментально. В качестве исходных данных для анализа были использованы данные о процессе сдвижения на 11 крутопадающих рудных месторождениях ( $\alpha = 65 \div 85^\circ, f = 5 \div 20, m = 5 \div 50$  м), где параметры процесса сдвижения определены

по результатам инструментальных наблюдений. Кроме того, было проведено объемное моделирование отработки залежей различной формы методом конечных элементов. Расчетные значения углов  $\delta$  хорошо согласуются с натурными данными. Результаты представлены на рис. 6.

Натурные данные хорошо аппроксимируются (коэффициент корреляции 0,89) зависимостью вида:

$$\delta = 32,7 + 29,1 \cdot \lg(l_1/m) \quad (4)$$

Установленная зависимость позволяет определить угол сдвижения по простиранию для условий Иртышского месторождения. При длине по простиранию 1250 м, по падению – 600 м и максимальной мощности 6 м по зависимости (4) получен угол сдвижения по простиранию  $\delta = 88^\circ$ . В настоящее время для Иртышского месторождения установлен угол сдвижения по простиранию  $\delta = 70^\circ$ . Увеличение угла сдвижения по простиранию позволяет существенно уменьшить размеры предохранительных целиков.

**Методика расчета параметров горных мер охраны стволов шахт.**

Для обеспечения сохранности стволов нами предложено ограничить развитие общей зоны сдвижения вмещающих пород путем оставления ленточных барьерных целиков (БЦ), ориентированных по падению залежи. Выработанное пространство между БЦ допускается погашать обрушением. Рудные целики препятствуют развитию общей зоны сдвижения горных пород, ограничивая ее замкнутыми областями сдвижения (рис. 7).

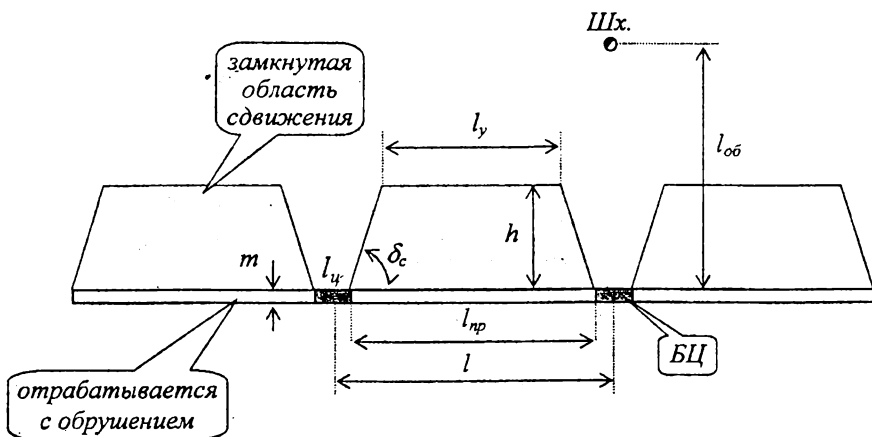


Рис. 7. Схема построения в плане замкнутой зоны сдвижения при оставлении целиков

Расстояние между оставляемыми целиками по простиранию залежи  $l_{np}$  устанавливается таким, чтобы размер замкнутой области сдвижения в лежачем боку залежи  $h$  не превышал половины расстояния  $l_{об}$  от выработанного пространства до ствола, т.е. должно выполняться условие:  $h < l_{об}/2$  (рис. 7).



Пролет выработанного пространства по простиранию  $l_{np}$  между целиками в свету определяется по формуле:

$$l_{np} = l_y + l_{об} / \operatorname{tg} \delta_c \quad (5)$$

где  $l_y$  - размер устойчивого пролета пород, оконтуривающих замкнутую область сдвижения в лежачем боку залежи;  $\delta_c$  - угол, оконтуривающий замкнутую область сдвижения по простиранию залежи. Для пород лежачего бока устойчивый пролет  $l_y = 20$  м и  $\delta_c = 70^\circ$ .

Глубину развития замкнутой области сдвижения в породах лежачего бока можно определить по формуле:

$$h = 0,5 \cdot (l_{np} - l_y) \cdot \operatorname{tg} \delta_c \quad (6)$$

Рекомендуемые параметры горных мер охраны шахтных стволов Иртышского рудника приведены в табл. 2.

<i>Параметры горных мер охраны шахтных стволов</i>		<i>Таблица 2</i>
<i>Параметры</i>	<i>Шх. «Вспом.»</i>	<i>РЭШ</i>
Расстояние от ствола до залежи $l_{об}$ , м	300	150
Расстояние между осями БЦ $l$ , м	150	90
Пролет выработанного пространства $l_{np}$ , м	120	75
Ширина БЦ $l_p$ , м	30	15
Глубина замкнутой области сдвижения $h$ , м	138	76
Средняя выемочная мощность залежи $m$ , м	6	3
Коэффициент запаса прочности БЦ $n$	2,4	2,0

В настоящее время на Иртышском руднике отработка запасов на 11 – 13 горизонтах в контурах предохранительных целиков ведется с обрушением вмещающих пород, а охрана стволов шахт осуществляется оставлением ленточных барьерных целиков по падению залежи с параметрами, приведенными в табл. 2.

*Анализ проявлений горного давления на нижних горизонтах Иртышского рудника и обоснование дополнительных мероприятий по управлению горным давлением.* При отработке нижних горизонтов Иртышского рудника на глубинах более 550 м наблюдаются интенсивные проявления горного давления. Они выразились в разрушении буровых восстающих в блоках, где отработка залежи велась в восходящем порядке

системой с магазинированием руды с применением комплексов КОВ-25. В результате раздавливания восстающих на 11 горизонте было потеряно 4 комплекса. Кроме того, высокое горное давление проявилось в обрушениях кровли рудных подэтажных и доставочных штреков, находящихся под отработанными и заложенными на верхних горизонтах блоками, и отслоениях сильно рассланцованных пород в бортах штреков. Во всех случаях кровля штреков сводчатого сечения после разрушения и вывала руды приобретала характерную шатровую форму. При этом, как правило, орты и квершлагги сохраняют свою устойчивость. Данная форма разрушения штреков – с образованием шатрового свода весьма характерна, как проявление высоких горизонтальных напряжений, действующих вкрест простирания рудного тела и превышающих вертикальное давление. Обратным расчетом по фактам разрушения горных выработок на глубоких горизонтах установлено, что горизонтальные напряжения, действующие вкрест простирания рудного тела, превышают природные  $\lambda\gamma H$  в 2,8–3,3 раза. Следовательно, наблюдаемые на практике проявления горного давления связаны с формированием зоны концентрации горизонтального давления под ранее отработанными и заложенными блоками. Схема сдвижения и формирования опорного давления под выработанным пространством представлена на рис. 8.

Для проверки данного вывода произведен расчет горизонтальных напряжений в сечении 32-34 Иртышского рудника по методике Одинцева В.Н. (ИПКОН РАН) по стадиям отработки Основного рудного тела. Анализ полученных результатов показал следующее: 1) зона опорного давления от отработки 6-10 горизонтов распространяется на глубину до 700 м, захватывая 12 и 13 горизонты; 2) максимальные горизонтальные напряжения превышают прочность массива и возникают на 11 горизонте, где ведутся горные работы и наблюдаются интенсивные проявления горного давления; 3) нагрузки, которые воспринимает закладка отработанных ранее горизонтов, не превышают 10% от исходных в природном поле горизонтальных напряжений  $\lambda\gamma H$ , т.е. закладка не может существенно изменить геомеханическую ситуацию на нижних

горизонтах; 4) отработка блока в восходящем порядке (горизонтальными слоями и с магазинированием руды) на все уменьшающийся целик руды вызывает рост концентрации напряжений в обрабатываемом рудном массиве и приводит, в конечном итоге, к разрушению горных выработок.

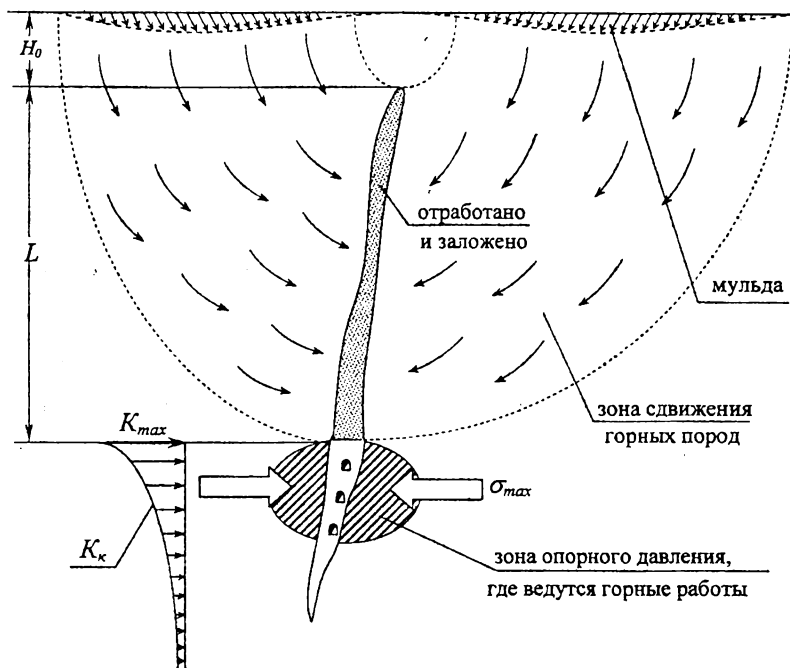


Рис. 8. Схема сдвижения и формирования опорного давления под выработанным пространством

Следовательно, существует предельная глубина применения систем разработки с восходящим порядком отбойки руды в блоках. На больших глубинах (больше  $H_{пр}$ ) должны применяться системы с нисходящим порядком отбойки руды (подэтажных штреков и подэтажного обрушения) в сочетании с дополнительными мерами, обеспечивающими безопасность ведения горных работ: в зонах высокого опорного давления с большими пролетами подработки лежачего бока сечению подэтажных штреков необходимо придавать шатровую форму поперечного сечения и крепить борта штреков анкерами, чтобы предотвратить разрушение рассланцованных вмещающих пород.

*Методика определения предельной глубины применения систем разработки с восходящим порядком отбойки руды.* Действующие в зоне опорного давления максимальные горизонтальные напряжения  $\sigma_{max}$  (рис. 8) можно выразить через величину горизонтальных напряжений в массиве в исходном состоянии до начала горных работ  $\lambda\gamma H$  и максимальный коэффициент концентрации напряжений  $k_{max}$  в зоне опорного давления виде:

$$\sigma_{max} = k_{max} \cdot \lambda \gamma H \quad (7)$$

Коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления под выработанным пространством зависит, прежде всего, от пролета выработанного пространства по падению залежи  $L$  и расстояния от земной поверхности до верхней границы горных работ  $H_0$ . Для определения значений максимального коэффициента концентрации горизонтальных напряжений  $K_{max}$  в зоне опорного давления были нами проведены расчеты по методике Одинцева В.Н. В результате статистической обработки полученных результатов расчетов получена эмпирическая зависимость (коэффициент корреляции 0,98):

$$K_{max} = 1 + 0,01 \cdot L + 0,0025 \cdot H_0 \quad (8)$$

По установленной зависимости определяется концентрация напряжений в зоне опорного давления. Затем, по условию прочности массива руды  $\sigma_m$  на контуре (в кровле) подэтажного штрека, определяется предельная глубина  $H_{np}$ :

$$H_{np} = \sigma_m / [\gamma(3\lambda \cdot K_{max} - 1)] \quad (9)$$

Полученное значение предельной глубины сравнивается с фактической глубиной горных работ  $H$ . В случае, если  $H \geq H_{np}$ , то необходимо вести отработку блока только в нисходящем порядке, с применением дополнительных мер, обеспечивающих безопасность ведения горных работ.

Например, для блоков 1132 – 1332: глубина  $H_0 = 320$  м, пролет  $L = 220$  м, прочность массива  $\sigma_m = 88,5$  МПа. По формуле (8) получен коэффициент концентрации  $K_{max} = 3,78$ . В результате расчета предельной глубины по формуле (9) получено значение  $H_{np} = 545$  м. Фактические, наблюдаемые на практике проявления горного давления в подэтажных штреках блоков 1132 – 1332,

происходят на глубинах 550 – 650 м. Следовательно, результаты расчета предельной глубины подтверждаются опытом ведения горных работ. По предложенной методике произведен расчет предельной глубины для всех вертикальных сечений Основной и Юго-Восточной залежей Иртышского месторождения.

### ***ЗАКЛЮЧЕНИЕ***

В диссертации дано новое решение актуальной задачи обоснования способов управления сдвижением и горным давлением при отработке предохранительных целиков на слепых крутопадающих залежах путем оставления барьерных целиков по падению залежи с погашением выработанного пространства между ними обрушением вмещающих пород и определения глубины, начиная с которой добычу руды необходимо вести только в нисходящем порядке.

Основные научные и практические результаты работы:

1. Установлены основные закономерности процесса сдвижения при разработке слепых крутопадающих залежей небольшой мощности, заключающиеся в том, что вблизи отработанной залежи вектора смещений массива ориентированы субгоризонтально в сторону выработанного пространства; по мере удаления от выработанного пространства смещения уменьшаются по величине и изменяют свое направление, приближаясь к вертикальным; максимум смещений всегда располагается на уровне верхней границы последнего отработанного горизонта; мульда сдвижения на поверхности имеет два максимума в лежачем и висячем боках залежи.

2. Предложен новый метод оценки горизонтальных смещений массива горных пород по глубине по результатам профилировок шахтных стволов.

3. Установлена новая зависимость между углами сдвижения по простиранию и геометрическими параметрами выработанного пространства слепых крутопадающих залежей, что позволяет более точно определить размеры предохранительных целиков стволов шахт.

4. Обоснован способ управления сдвижением горных пород путем оставления ленточных барьерных целиков по падению залежи; предложена методика расчета параметров новой горной меры охраны стволов шахт.

5. Установлено, что наблюдаемые на практике проявления горного давления на нижних горизонтах слепых крутопадающих залежей являются следствием высоких горизонтальных напряжений, действующих в зоне опорного давления под выработанным пространством вкрест простирания рудного тела. Отработка блока в восходящем порядке (горизонтальными слоями и с магазинированием руды) на все уменьшающийся целик руды вызывает рост концентрации напряжений в отрабатываемом рудном массиве и приводит, в конечном итоге, к разрушению горных выработок. Следовательно, существует предельная глубина применения систем разработки с восходящим порядком отбойки руды в блоках.

6. Предложена методика определения предельной глубины, начиная с которой должны применяться системы с нисходящим порядком отбойки руды (подэтажных штреков и подэтажного обрушения) в сочетании с дополнительными мерами, обеспечивающими безопасность ведения горных работ. Предельная глубина определяется концентрацией горизонтальных напряжений на контуре подготовительной выработки, которая, в свою очередь, линейно зависит от пролета выработанного пространства по падению и расстояния от земной поверхности до верхней границы горных работ.

7. Обоснованный способ управления сдвижением и горным давлением в контуре предохранительных целиков путем оставления барьерных целиков по падению залежи и обрушением вмещающих пород между ними внедрен в производство и в настоящее время на Иртышском руднике является основным.

8. За счет изменения способов управления сдвижением и горным давлением на Иртышском руднике снижение затрат на отработку нижних горизонтов составляет 475,2 тыс. долларов США в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Зеленцов С.Н., Сосунов Ю.А. Определение допустимых размеров выработанного пространства по падению при неполной подработке земной поверхности // Маркшейдерский вестник, 2000, №3, с. 41-42
2. Кунанбаев Н.С., Зеленцов С.Н., Макаров А.Б., Сосунов Ю.А., Терешин А.А. Исследование прочностных и деформационных свойств закладочного массива // Горный журнал, 2001, №5, с. 36-38
3. Обоснование разработки нижних горизонтов Иртышского рудника (в соавторстве) // Караганда, ЦНТИ, 2001, 78 с.
4. Макаров А.Б., Сосунов Ю.А. Обоснование мер охраны шахтных стволов при отработке предохранительных целиков системой с обрушением // Тез. докл. межд. конф.– Москва, МГГРУ, 2002, с. 57
5. Исаев К.О., Макаров А.Б., Кондратов А.И., Сосунов Ю.А. Геомеханическое обоснование технологии разработки нижних горизонтов Иртышского рудника с обрушением // Горный журнал, 2002, №5, с. 29-30
6. Сосунов Ю.А. Влияние геометрических параметров выработанного пространства на углы сдвижения по простирианию при разработке рудных залежей // Сб. докл. межд. конф.– Москва, ИПКОН РАН, 2002.
7. Макаров А.Б., Чекалин С.И., Сосунов Ю.А. Оценка горизонтальных смещений массива по профилировкам шахтных стволов // Труды ВНИИцветмета №1, Усть-Каменогорск, 2002, с. 51-54
8. Макаров А.Б., Сосунов Ю.А. Влияние геометрических параметров выработанного пространства на углы сдвижения по простирианию при разработке крутопадающих рудных залежей // Труды ВНИИцветмета №1, Усть-Каменогорск, 2002, с. 54-56

---

Подписано в печать 14.04.03. Печ.л. 1,0 Тираж 100 экз.  
Редакционно-издательский отдел МГГРУ