

На правах рукописи

ЩЕДРИНА Наталья Николаевна

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВОВ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НА
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С НЕИЗУЧЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ
ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ.**

Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

АВТОРЕФЕРАТ

***диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук***

Москва 2013

Работа выполнена в Институте проблем комплексного освоения недр РАН, отдел Научной информации и проблем управления освоением недр

Научный руководитель: **ИОФИС Моисей Абрамович**
доктор технических наук,
профессор.

Официальные оппоненты: **МАКАРОВ Александр Борисович**
доктор технических наук, профессор,
кафедры «Разработки месторождений
стратегических видов минерального
сырья и маркшейдерского дела»
РГГРУ «Российский государственный
геологоразведочный университет
им. С. Орджоникидзе».

ЯКОВЛЕВ Павел Владимирович
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Маркшейдерского дела
и геодезии» МГГУ «Московский
государственный горный университет».

Ведущая организация: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности».

Защита состоится «26» февраля 2014 г. в 10 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета 002.074.02 при Институте проблем комплексного освоения недр РАН по адресу: 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем комплексного освоения недр РАН.

Автореферат разослан «23» января 2014 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
докт. техн. наук

И.В. Милетенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В последнее время, в связи с истощением запасов полезных ископаемых, расположенных в благоприятных условиях, все чаще приходится вовлекать в добычу месторождения, залегающие на больших глубинах и в сложных, недостаточно изученных, а иногда совсем неизученных условиях. Особенно остро ощущается эта ситуация в период проектирования горнодобывающих предприятий, когда принимаются базовые технические решения, от надежности которых во многом зависит будущее этих предприятий. Но именно в этот период на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения имеется очень мало исходных данных, необходимых для надежного обоснования принимаемых технических решений. Определение углов сдвижения, используемых для построения предохранительных целиков, производится по способу проф. Д.А. Казаковского, базирующегося на зависимости этих углов только от коэффициента крепости горных пород, вмещающих полезное ископаемое. В настоящее время этот способ имеет ограниченную область применения по ряду причин, основными из которых являются:

- способ составлен более полувека тому назад и сильно устарел;
- способ определения угла сдвижения составлялся в период, когда горные работы велись на малых глубинах, и основной мерой охраны подрабатываемых объектов было оставление предохранительных целиков, которая в настоящее время не допустима;
- способ определения угла сдвижения базируется на одном показателе – крепости пород, в то время как геомеханическое состояние массива определяется, прежде всего, отношением нагрузки на горную породу к ее прочности.

Между тем геомеханическое состояние массива горных пород входит в число основных исходных данных, на базе которых выбираются система разработки и ее параметры, виды крепи горных выработок и способы управления горным давлением, методы охраны сооружений поверхности и другие технические решения.

В соответствии с изложенным, развитие методов оценки механических характеристик массивов осадочных пород на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения, включающее разработку классификации критериев подобия месторождений полезных ископаемых с учетом современных условий их освоения, является важной и актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности геомеханического обеспечения освоения месторождений твердых полезных ископаемых с неизученным характером процесса сдвижения путем установления и использования зависимостей параметров этого процесса от

основных влияющих факторов.

Идея работы. Использование критериев подобия месторождений с изученным характером процесса сдвижения и взаимосвязи показателей неоднородности массива горных пород, полученных в лабораторных и натурных условиях, для определения параметров геомеханических процессов на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие **основные задачи**:

1. Установить критерии подобия месторождений и составить их классификацию.
2. Определить показатели, характеризующие состояние и строение массива горных пород.
3. Установить зависимость угловых параметров сдвижения горных пород от основных влияющих факторов.
4. Определить условия образования провалов на месторождениях-аналогах и разработать методы установления местоположения полостей в толще горных пород, вызывающих эти провалы.

Методы исследования поставленных задач. Для решения поставленных задач в работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение имеющегося опыта применения методики установления месторождений – аналогов, изучение свойств и состояния горных пород в натурных и лабораторных условиях, сопоставление результатов расчета с данными наблюдений и оценку их точности.

Основные защищаемые положения:

1. Классификация критериев подобия, базирующаяся на показателях, характеризующих строение, свойства и состояние массивов горных пород на этих месторождениях, позволяющая существенно упростить и повысить надежность выбора месторождений – аналогов.
2. Зависимость угловых параметров сдвижения горных пород от основных влияющих факторов, отражающая роль каждого из них в развитии общего процесса деформирования подрабатываемого массива горных пород, что существенно расширяет возможности управления этим процессом.
3. Метод оценки механических характеристик горных пород путем учета их неоднородностей, выражаемых отношением сопротивления пород растяжению или сдвигу к сопротивлению сжатию, позволяющий использовать данные лабораторных исследований образцов пород для определения механических характеристик массива.
4. Методика прогноза и учета образования над горными работами провалов и крупных трещин при выборе месторождений аналогов, направленная на предотвращение разрушений подрабатываемых объектов на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения.

Научная новизна:

1. Установлено, что показатель неоднородности массива горных пород находится в прямой зависимости от отношения сопротивления пород на растяжение или сдвиг к их сопротивлению сжатию и выражается корнем квадратным из этого отношения.

2. Показано, что для определения угловых параметров сдвижения горных пород на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения необходимо и достаточно учитывать четыре основных фактора, характеризующие свойства, состояние, строение и горно-геологические условия разработки месторождения.

3. Разработана классификация критериев подобия месторождений (аналогов), впервые обеспечивающая необходимой информацией при проектировании освоения месторождений с неизученным характером процесса сдвижения.

4. Получила развитие теория подобия в строении и деформировании горных пород на микро- и макроуровнях.

Достоверность научных положений и выводов обоснована использованием современных методов теоретических исследований, базирующихся на основных достижениях в области геомеханики, соответствием результатов расчетов критериям действующих нормативных документов и опыту ведения добычных работ на горнодобывающих предприятиях.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная классификация критериев подобия позволяет решать вопросы, возникающие при составлении проектов освоения месторождений с неизученным характером процесса сдвижения, в частности обеспечить необходимыми достоверными данными о свойствах, состоянии, строении и горно-геологических условиях разработки месторождений.

Апробация результатов работы. Основные научные положения и результаты исследований обсуждались на научных симпозиумах «Неделя горняка – 2010» (Москва, МГУ), на секционных заседаниях 7-й, 8-й, 9-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2010-2013).

Публикации. Результаты исследований отражены в 8 опубликованных работах, 4 из которых - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 132 страницах машинописного текста, содержащих 19 рисунка, 19 таблиц, список литературы из 93 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе использованы фундаментальные труды выдающихся ученых К.Н. Трубецкого, М.М. Протодяконова, П.М. Леонтовского, С.Г. Авершина, И.А. Турчанинова, Д.Р. Каплунова, С.Д. Викторова, Ю.П. Галченко, Д.А. Казаковского, а также теоретические и экспериментальные исследования М.В. Рыльниковой, В.А. Бобина, М.А. Иофиса, А.Б. Макарова, И.В. Милетенко, Ж.М. Канлыбаевой, А.А. Козеева, Н.К. Звонарева, В.Н. Попова, П.В. Яковлева и ряда других ученых.

В ходе исследований установлено, что наиболее точно отражает особенности месторождения на начальной стадии его освоения отношение нагрузки на массив горных пород к сопротивлению этой нагрузке.

Многочисленными опытами было подтверждено, что при изменении размеров образцов из различных материалов их свойства (в том числе и прочность) меняются. При этом главная сложность состоит в том, чтобы перенести результаты лабораторных испытаний породных образцов малых размеров на достаточно большие участки массива сложного структурного строения. Прочностные и деформационные свойства образца существенно отличаются от тех же свойств массива, т.к. в реальном структурно неоднородном теле, вероятность встречи дефектов (трещин, включений и т.п.) у крупных тел выше и поэтому с увеличением объема прочность неизбежно должна уменьшаться. Остановимся подробнее на прочности горных пород. Для этого рассмотрим эмпирический критерий прочности, широко применяемый в зарубежной расчетной практике, критерий Хоека-Брауна, предложенный в виде:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{сж.Л} \left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_{сж.Л}} + S \right)^a \quad (1)$$

где: $\sigma_{сж.Л}$ - прочность на одноосное сжатие ненарушенных горных пород (в образце);

σ_3 – главное напряжение;

m и S - безразмерные константы материала;

a -показатель степени, ранее принимаемый равным 0,5.

В результате ряда преобразований эмпирического критерия Хоека-Брауна было установлено, что этот критерий, характеризующий неоднородность массива горных пород Π_n и описывается выражением вида:

$$\Pi_n = \sqrt[a]{\left(\frac{\sigma_{рас.Л}}{\sigma_{сж.Л}} \right)^{a-1}} \quad (2)$$

где: Π_n - показатель неоднородности массива горных пород;

$\sigma_{рас.Л}$ и $\sigma_{сж.Л}$ – пределы прочности пород на растяжение и на сжатие

соответственно, определённые в лабораторных условиях.

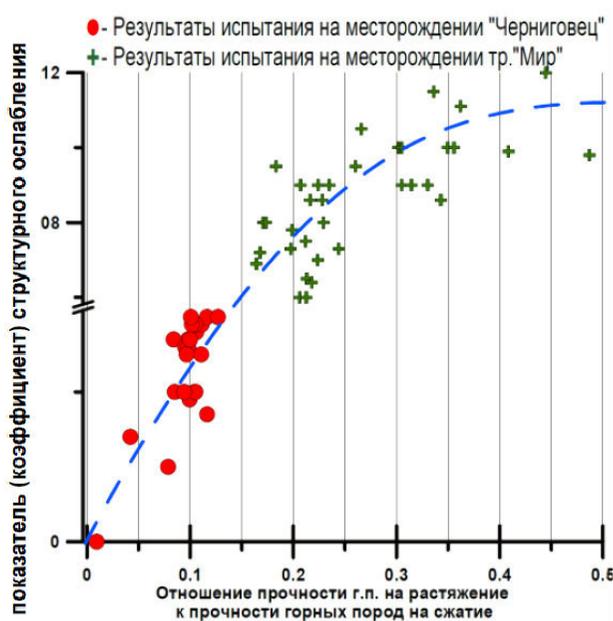


Рисунок 1. График зависимости коэффициента структурного ослабления от отношения прочности пород на растяжение к прочности пород на сжатие.

Используя указанный критерий и базируясь на теории подобия процессов на микро- и макроуровнях, нами выполнен анализ лабораторных и натуральных испытаний на месторождении «Черниговец».

На данном месторождении по всем профилям на участках формирования временно нерабочих бортов были отобраны образцы пород и испытаны в соответствии с ГОСТом 21153.4-75.

Были обработаны результаты натуральных испытаний по определению коэффициента структурного ослабления на алмазных месторождениях, в частности на месторождении тр. Мир. Испытания проводились как при разведке месторождений в подземных разведочных выработках, так и в бортах эксплуатируемых карьеров.

На основании полученных данных был построен график зависимости коэффициента структурного ослабления от отношения прочности пород на растяжение к прочности пород на сжатие. Для этого по оси Y отложены значения показателя неоднородности массива горных пород K_c , а по оси X отношение прочности горных пород на растяжение к

прочности пород на сжатие Рисунок 1, приведенную на этом рисунке кривую можно аппроксимировать выражением вида:

$$Kc = \lambda \times a \sqrt{\left(\frac{\sigma_{рас}}{\sigma_{сж}} \right)^{a-1}} \quad (3)$$

где: $a = 2$

$\lambda = \sigma_{рас}/\sigma_{сж}$;

Kc —коэффициент структурного ослабления;

$\sigma_{рас}$.- предел прочности на растяжение [МПа];

$\sigma_{сж}$.- предел прочности на сжатие [МПа].

Анализ приведенных данных показал, что расхождение показателей неоднородности массива горных пород, определенных по результатам инструментальных наблюдений и рассчитанных по выведенной зависимости составляют $-0,02$ при среднем квадратическом отклонении $\pm 0,01$ на месторождении «Черниговец» и $-0,01...-0,09$ при среднем квадратическом отклонении $\pm 0,05$ на месторождении тр. «Мир».

Поскольку определение прочности горных пород на растяжение является более трудоемкой и сложной задачей, нежели определение прочности горных пород на сдвиг, было произведено определение коэффициента структурного ослабления по изложенному методу, где вместо прочности пород на растяжение принималась прочность горных пород на прямой сдвиг τ по естественной поверхности ослабления. Данные лабораторных испытаний проводились на примере тестирования образцов, взятых с золоторудных месторождений «Гросс» и «Таборное».

Согласно полевым наблюдениям среднее расстояние между поверхностями ослабления пород (трещинами), взятых непосредственно в рудных областях карьера составляет около 5 – 10 см. Согласно СНиП II – 94 – 80, если среднее расстояние между поверхностями ослабления пород менее 0,1 м коэффициент структурного ослабления составляет $K_c = 0,2$. На основании полученных данных (согласно результатам лабораторных исследований свойств пород месторождений «Гросс» и «Таборное») был построен график зависимости коэффициента структурного ослабления от отношения прочности пород на сдвиг к прочности пород на сжатие (Рисунок 2).

Полученную на Рисунке 2 зависимость можно аппроксимировать выражением вида:

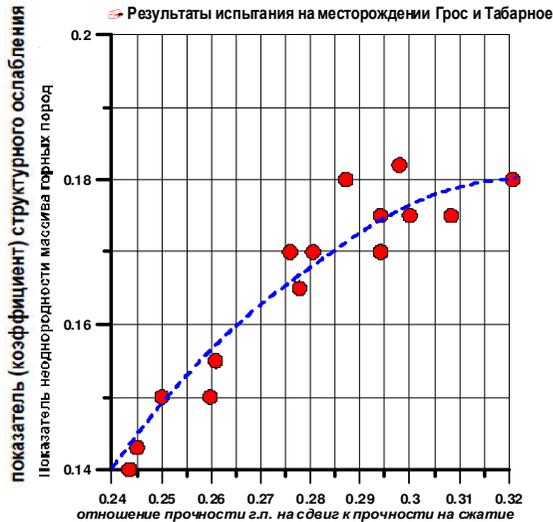


Рисунок 2. График зависимости коэффициента структурного ослабления от отношения прочности пород на сдвиг к прочности пород на сжатие на месторождениях «Гросс» и «Таборное».

$$K_c = d \times a \sqrt{\left(\frac{\tau}{\sigma_{сж}} \right)^{a-1}} \quad (4)$$

где: $a = 3$

$d = \tau / \sigma_{сж}$;

K_c – коэффициент структурного ослабления;

τ – прочность горных пород на сдвиг [МПа];

$\delta_{сж}$ - предел прочности на сжатие [МПа].

Анализ приведенных данных показывает, что расхождения величин показателя неоднородности массива горных пород, определенных по результатам инструментальных наблюдений и рассчитанных по выведенной зависимости составляют -0,01...-0,03 при среднем квадратическом отклонении $\pm 0,002$ на месторождении «Гросс» и «Таборное».

В проблеме защиты сооружений от вредного влияния горных работ **углы сдвижения** занимают важное место.

Механические свойства и структурные особенности горных пород оказывают влияние на все параметры и показатели процесса сдвижения. Наиболее тесная зависимость от этого фактора прослеживается в значениях углов сдвижения δ , полученных при различных свойствах горных пород. На основании указанной зависимости проф. Д. А. Казаковский составил

классификацию месторождений, используя прочностные свойства пород в качестве основного определяющего признака. Эта классификация представлена в табличной форме. Графически ее можно изобразить в виде, представленном на (Рисунке 3), данную зависимость аналитически можно аппроксимировать выражением вида:

$$\begin{cases} \delta = 50^\circ + 7,5^\circ f \\ \delta = 60^\circ + 3,5^\circ f \end{cases} \text{ при } \begin{cases} 0,3 < f \leq 2,0 \\ 2,1 < f \leq 6,0 \end{cases} \quad (5)$$

где: f – коэффициент крепости по М.М. Протождяконову;
 δ – угол сдвига [град].

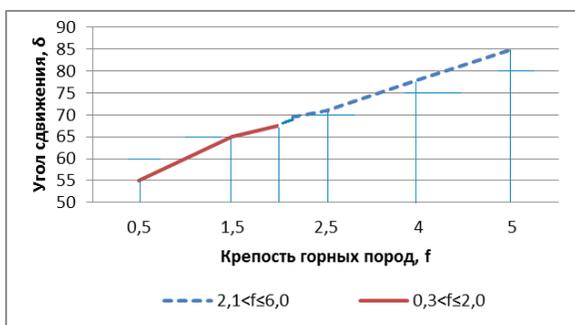


Рисунок 3. Зависимость угла сдвига от крепости горных пород

При детальном исследовании влияния различных факторов на угол сдвига было установлено, что на него оказывают влияние следующие факторы:

- Прочностные свойства горных пород;
- Состояние и строение массива горных пород;
- Размер очистной выработки, который учитывается через соотношение D/H ;
- Отношение глубины горных работ к мощности пласта.

Все вышеперечисленные факторы использовались ранее для определения угла сдвига отдельно друг от друга, хотя каждый из них вносит определенный процент влияния на угол сдвига и не могут быть рассмотрены отдельно друг от друга.

С учетом установленных зависимостей углов сдвига от основных влияющих факторов, была выведена в общем виде формула для определения углов сдвига:

$$\delta = 50^0 + 1^0 \left(\sqrt{f_{cp.}} + \sqrt{\frac{\sigma_{сжк}}{\gamma H}} + \sqrt{\frac{D}{H}} + \sqrt{\frac{H}{m}} \right) \quad (6)$$

Для ее уточнения был использован метод последовательных приближений и принцип Гаусса, согласно которому сумма квадратов отклонений измеренных значений от функции была бы минимальной. Для определения угла сдвижения были взяты данные с таких месторождений, как Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский угольные бассейны и целого ряда рудных месторождений таблица 1.

Таблица 1

	$\delta, ^\circ$	$\sigma_{сж,т/м}^2$	$\gamma, т/м^3$	$m, м$	$H, м$	$D, м$	$f^{0,5}$	$(\sigma/\gamma H)^{0,5}$	$(D/H)^{0,5}$	$(H/m)^{0,5}$
Донецкий	80	5600	1,4	1	285	220	2,4	3,7	0,9	16,9
Кузнецкий	70	3100	2,5	2,2	100	100	1,8	3,5	1,0	6,7
Карагандинский	72	2800	2,7	1,3	60	200	1,7	4,2	1,8	6,8
Кизеловский	82	5200	1,6	1	56	72	2,3	7,6	1,1	7,5

Используя данные, приведенные в таблице 1, а именно показатели прочности, состояния и строения массива горных пород, отношение размера отечественной выработки к глубине горных работ, отношение глубины горных работ к мощности пласта на изученных месторождениях по характеру процесса сдвижения горных пород была составлена система (7) из четырех уравнений с четырьмя неизвестными.

В данной системе показатели X_{11}, \dots, X_{44} являются неизвестными коэффициентами перед \sqrt{f} ; $\sqrt{\frac{\sigma_{сжк}}{\gamma H}}$; $\sqrt{\frac{D}{H}}$; $\sqrt{\frac{H}{m}}$.

$$\begin{cases} 2,4x_{11} + 3,7x_{12} + 0,9x_{13} + 16,9x_{14} = 30 \\ 1,8x_{21} + 3,5x_{22} + 1,0x_{23} + 6,7x_{24} = 20 \\ 1,7x_{31} + 4,2x_{32} + 1,8x_{33} + 6,8x_{34} = 22 \\ 2,3x_{41} + 7,6x_{42} + 1,1x_{43} + 7,5x_{44} = 32 \end{cases} \quad (7)$$

Произведем над полученной системой уравнений ряд преобразований. Для этого выпишем расширенную матрицу \bar{A} для системы (7). Полученной матрице соответствует система уравнений (8), которая получается из системы (7) с помощью некоторого числа элементарных преобразований и, следовательно, равносильна системе (8). Если в системе (8) $r = n$, то из

последнего уравнения, находим единственное значение x_4 , из предпоследнего уравнения – значение x_3 и т.д., наконец, из первого уравнения – значение x_1 .

$$\begin{cases} 2,4x_1 + 3,7x_2 + 0,9x_3 + 16,9x_4 = 30 \\ 0,9x_2 + 0,5x_3 - 7,9x_4 = -3,4 \\ -0,3x_3 - 4,8x_4 = -3,8 \\ -9x_4 = -7 \end{cases} \quad (8)$$

Из системы (8) определяем значения $X_1 \dots X_4$, где:

$$\begin{aligned} X_4 &= 0,77 \text{ показатель перед } \sqrt{\frac{H}{m}}; & X_3 &= 1,61 \text{ показатель перед } \sqrt{\frac{D}{H}}; \\ X_2 &= 13,21 \text{ показатель перед } \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{\gamma H}}; & X_1 &= 13,51 \text{ показатель перед } \sqrt{f} \end{aligned}$$

Теперь возьмём некоторое первое приближение к решению этой системы, обозначив его $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, x_4^{(0)}$. Подставив это решение, вычислим второе приближение. Применяя метод последовательных приближений, согласно которому сумма квадратов отклонений измеренных значений от функции должна быть минимальной при четвертом приближении были получены данные, погрешность которых не превышает $15 \div 20\%$, соответствующей точности инженерных расчетов в горном деле.

Подставив полученные значения $X_1 \dots X_4$ в уравнение (6) и основываясь на обработке результатов инструментальных наблюдений с учетом установленных зависимостей углов сдвижения от основных влияющих факторов, выведена эмпирическая формула для определения углов сдвижения:

$$\delta = 50^0 + 1^0 \left(3,5 \sqrt{f_{cp}} + 3 \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{\gamma H}} + 2 \sqrt{\frac{D}{H}} + 0,7 \sqrt{\frac{H}{m}} \right) \quad (9)$$

где: f_{cp} – средневзвешенное значение коэффициента крепости;

m – мощность пласта, [м];

$\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие, [т/м²];

γ – объемный вес, [т/м³];

H – глубина залегания горных работ, [м];

D – размер выработки, [м].

В качестве f_{cp} принимают средневзвешенное по мощности слоев значение

коэффициента крепости пород над серединой выработанного пространства:

$$f_{\text{ср}} = \frac{f_1 m_1 + f_2 m_2 + \dots + f_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (10)$$

Где f_1, \dots, f_n - коэффициенты крепости основных литологических разностей коренных пород; m_1, \dots, m_n - мощности основных литологических разностей пород.

Из выше приведенного следует, что классификация профессора Д.А. Казаковского является частным случаем выведенной зависимости угла сдвига δ от прочности горных пород и соответствует глубинам разработки от 100 до 350 м., т.е. условиям, в которых велись в то время горные работы.

Таким образом, для современных глубин разработки месторождений для определения угловых параметров необходимо и достаточно учитывать четыре основных фактора, характеризующие свойства, состояние, строение и горно-геологические условия разработки месторождения, которые описываются выражением (9).

В работе создана «классификация критериев подобия» (таблица 2), необходимая для определения геомеханического состояния массива горных пород на месторождениях с неизученными параметрами процесса сдвига. Основной особенностью разработанной «классификация критериев подобия» является то, что получив только первичные данные о месторождении в частности, определив значение прочности пород на сжатие, прочность пород на растяжение и сдвиг лабораторным путем, можно, определить строение массива горных пород. Это является очень важным показателем, поскольку именно на стадии проектирования месторождений с неизученным характером процесса сдвига имеется очень мало исходных данных, необходимых для надежного обоснования принимаемых технических решений.

Разработанная классификация критериев подобия позволяет подобрать месторождения – аналоги для месторождений с неизученным характером процесса сдвига. Из значительного набора критериев подобия были выбраны следующие основные критерии, определяющие устойчивость массива горных пород при разработке месторождений с неизученным характером процесса сдвига: прочностьные свойства; состояние массива; строение массива; глубина залегания полезного ископаемого; угол падения пласта; мощность пласта; размер выработанного пространства.

Таблица 2

Классификация критериев подобия месторождений

Прочность пород	Состояние массива	Строение массива	Глубина	Условия залегания
<p>Очень низкая прочность</p> $f \leq 1,0;$ $\delta = 55^0$	<p>Весьма устойчивое</p> $\frac{\gamma H}{\delta_{сж}} \leq 0,5$	<p>Монолитное</p> $P_n = 1,0;$ $\frac{\delta_{рас.}}{\delta_{сж}} = 1,0$	<p>Мелкая глубина</p> $H \leq 100 \text{ м.}$	<p>Горизонтальное</p> $\alpha = 0^0 - 10^0$
<p>Низкая прочность</p> $f = 1,1 - 2,0;$ $\delta = 65^0$	<p>Устойчивое</p> $\frac{\gamma H}{\delta_{сж}} = 0,6 \div 1,0$	<p>Блочное</p> $P_n = 0,9 - 0,7;$ $\frac{\delta_{рас.}}{\delta_{сж}} = 0,8$	<p>Неглубокая</p> $H = 101 - 400 \text{ м.}$	<p>Пологое</p> $\alpha = 10^0 - 30^0$
<p>Средняя прочность</p> $f = 2,1 - 3,5;$ $\delta = 70^0$	<p>Допустимая устойчивость</p> $\frac{\gamma H}{\delta_{сж}} = 1,1 \div 1,5$	<p>Блочно - слоистое</p> $P_n = 0,6 - 0,5;$ $\frac{\delta_{рас.}}{\delta_{сж}} = 0,6$	<p>Средняя глубина</p> $H = 401 - 600 \text{ м.}$	<p>Крутое</p> $\alpha = 45^0 - 90^0$
<p>Высокая прочность</p> $f = 3,6 - 4,5;$ $\delta = 75^0$	<p>Предельное состояние</p> $\frac{\gamma H}{\delta_{сж}} = 1,6 \div 2,0$	<p>Трещиноватое</p> $P_n = 0,4 - 0,3;$ $\frac{\delta_{рас.}}{\delta_{сж}} = 0,4$	<p>Глубокая</p> $H = 601 - 1000 \text{ м.}$	<p>Складчатое; антиклинальное; синклинальное.</p>
<p>Очень высокая прочность</p> $f \geq 4,6;$ $\delta = 80^0$	<p>Запредельное состояние</p> $\frac{\gamma H}{\delta_{сж}} \geq 2,1$	<p>Сильнотрещиноватое</p> $P_n \leq 0,3;$ $\frac{\delta_{рас.}}{\delta_{сж}} \leq 0,2$	<p>Сверхглубокая</p> $H > 1000 \text{ м.}$	<p>Трубнообразное; кимберлитовые трубки.</p>

График и сравнительная таблица определения угла сдвижения по различным методикам

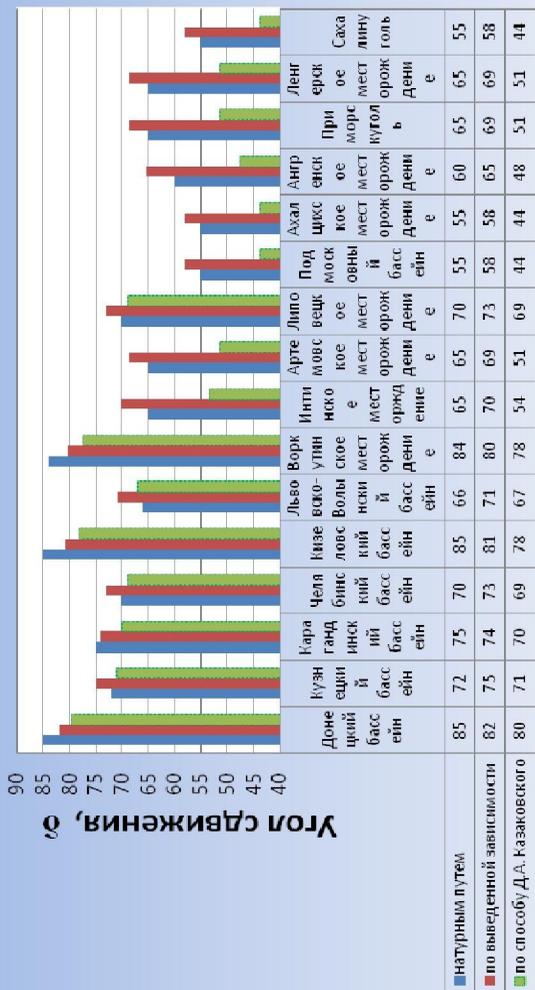


Рис.4 График определения угла сдвижения по различным методикам

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-исследовательской и квалификационной работой, приведено решение актуальной задачи геомеханического обеспечения освоения месторождений с неизученным характером процесса сдвижения, имеющей большое научное и практическое значение для повышения безопасности и эффективности горных работ и эксплуатации подрабатываемых объектов.

Основные выводы диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Установлена зависимость угла сдвижения от состояния, строения и механических характеристик массивов осадочных пород, которая представлена в виде:

$$\delta = 50^0 + 1^0 \left(3,5\sqrt{f_{cp.}} + 3\sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{\gamma H}} + 2\sqrt{\frac{D}{H}} + 0,7\sqrt{\frac{H}{m}} \right)$$

2. Показано, что наиболее полно отражают особенности месторождения на начальной стадии его освоения отношение нагрузки на массив горных пород к сопротивлению этой нагрузке и отношение прочности пород на растяжение или на сдвиг к прочности пород на сжатие;

3. Установлено, что показатель неоднородности массива горных пород связан с коэффициентом структурного ослабления и находится в следующей зависимости от отношения прочности пород на растяжение или на сдвиг к прочности пород на сжатие:

$$П_n = \lambda \times \sqrt[a]{\left(\frac{\sigma_{рас..Л}}{\sigma_{сж..Л}}\right)^{a-1}} \quad (1)$$

$$П_n = d \times \sqrt[a]{\left(\frac{\tau}{\sigma_{сж..Л}}\right)^{a-1}} \quad (2)$$

где: $a = 2$ и $\lambda = \sigma_{рас}/\sigma_{сж}$ в выражении (1);

$a = 3$ и $d = \tau/\sigma_{сж}$ в выражении (2).

4. Составлена классификация критериев подобия месторождений - аналогов, впервые обеспечивающая необходимой информацией при проектировании освоения месторождений с неизученным характером процесса сдвижения;

5. Разработана методика учета возможности образования над горными работами провалов и крупных трещин при выборе месторождений аналогов;
6. Показано, что наиболее надежно выбирается месторождение–аналог при использовании нескольких критериев, в число которых входят, прежде всего, свойства, строение, состояние массива горных пород, а также горно-геологические условия разработки месторождения;
7. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о наличии подобия в структуре горных пород на микро- и макроуровнях.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Щедрина Н.Н. Определение параметров процесса сдвижения для месторождений полезных ископаемых с неизученными или недостаточно изученными параметрами процесса сдвижения. ГИАБ, № 7 – 2011 г. С. 119-123.
2. Есина Е.Н., Щедрина Н.Н. Влияние зоны смягчения на развитие деформационных процессов в толще пород и на земной поверхности. Маркшейдерия и недропользование, № 1 – 2012г. С. 23-29;
3. Мараков В.Е., Щедрина Н.Н. Методика определения местоположения полости в толще пород, вызвавшей образование провала на земной поверхности. Маркшейдерия и недропользование, № 4 – 2012г. С. 49-52.
4. Щедрина Н.Н. Определение величины угла сдвижения земной поверхности и массива горных пород на месторождениях с неизученным характером процесса сдвижения. Маркшейдерия и недропользование, №6 – 2013г. С. 53-56.

В прочих изданиях

5. Щедрина Н.Н. Влияние угла падения пласта на размеры целиков при отработке полезных ископаемых. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 7 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 15 – 19 ноября 2010 г. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2010. С. 150-152.
6. Щедрина Н.Н. Анализ зависимости изменения предела прочности горных пород на сжатие с глубиной их залегания. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 9 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 19 – 23 ноября 2012 г.

– М: УРАН ИПКОН РАН, 2012.

7. Щедрина Н.Н. К вопросу определения параметров коэффициента структурного ослабления. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 9 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 19 – 23 ноября 2012 г. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2012.

8. Щедрина Н.Н. Определение взаимосвязи критерия прочности горных пород с показателем структурного ослабления с помощью преобразования эмпирического критерия Хоека-Брауна. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 10-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов.– М: ИПКОН РАН, 2013.

Лицензия ЛР № 21037. Подписано в печать с оригинал-макета 25.12.2013 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 1,0 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 205.

Издание ИПКОН РАН

111020 г. Москва, Крюковский тупик, д.4