

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ. ЕЩЕ ОДИН ШАГ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

*С.А. Неверов, А.А. Неверов, А.М. Фрейдин, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
СО РАН, Россия*

Приведен анализ и обобщены результаты изучения исходного поля напряжений в верхней части земной коры. Установлено нелинейное изменение максимальных горизонтальных напряжений по глубине залегания месторождений. Выполнена систематизация рудных месторождений по геомеханическим условиям на базе структурно-тектонических особенностей. Выделены четыре модели геосреды, дифференцированно описывающие характер изменения напряженного состояния с ростом глубины

Введение

В условиях постоянно возрастающей глубины разработки месторождений полезных ископаемых предъявляются все новые требования к добычным работам, которые не могут считаться обоснованными, если не учтены параметры реального тензора напряжений. Постоянное понижение горизонта очистной выемки неизбежно сопровождается изменением физико-механических свойств и напряженного состояния породного массива, образованием зон высокого горного давления и ростом интенсивности его проявлений в статической и динамической формах.

Первостепенным по важности при решении проблем больших глубин является развитие модельных представлений массивов пород в рамках структурно-геологического строения. Под моделью массива пород понимается физико-механическая система, представляющая собой участки верхней части земной коры или совокупность тектонических структур, которым свойственны в координатах пространства и времени определенные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния (НДС).

Многофакторное влияние различных явлений природы на формирование массивов горных пород, сложность учета их форм, размеров и свойств, геологических и тектонических процессов, протекающих в недрах, определяют поиск новых подходов для оценки НДС залежей полезных ископаемых, пригодных для решения прикладных задач геомеханики. Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки геомеханической типизации массивов пород рудных месторождений с учетом глубины их залегания.

В основу геомеханической типизации в качестве критериального признака рационально положить литологические и структурно-тектонические особенности массивов горных пород. Это позволит по выделенному тектонотипу месторождения и структурным особенностям массивов пород установить обобщенные закономерности изменения исходного поля напряжений с ростом глубины. Такая систематизация рудных залежей и разработка моделей геосреды по виду напряженного состояния послужат универсальной методологической основой для обоснования принципов безопасной и эффективной добычи полезных ископаемых в условиях больших глубин.

Анализ напряженного состояния массивов горных пород

К настоящему времени накоплен достаточный практический материал о параметрах распределения напряжений в различных частях земной коры [1-3]. В общей сложности проанализировано более 120 подземных рудников. Наиболее исследованными горнодобывающими регионами России и ближнего зарубежья являются Кольский полуостров, Урал, Норильский рудный пояс, Алтае-Саянская горно-складчатая область, Дальний Восток, Якутия, Казахстан, Средняя Азия и Украина (рис.1). Из стран дальнего зарубежья следует выделить Канаду, США, Австралию, Скандинавию, Европу, Японию и Южную Африку (рис. 2).

Выполненными исследованиями, установлен значительный разброс максимальных напряжений, действующих в массиве горных пород, значения которых изменяются от 20 до

60 и более МПа [1-3]. Наибольшими по величине, как правило, являются горизонтально ориентированные силы, интенсивно проявляющиеся на глубинах до 400-600 м. Для тектонически напряженных массивов пород характерны повышенные значениями градиента скорости современных поднятий геологических блоков, значительная сейсмическая активность и аномальные проявления горного давления в подземных выработках и даже скважинах. Сложный характер исходного напряженного состояния разрабатываемых рудных залежей обусловлен, прежде всего, расположением месторождений в различных геолого-тектонических структурах.

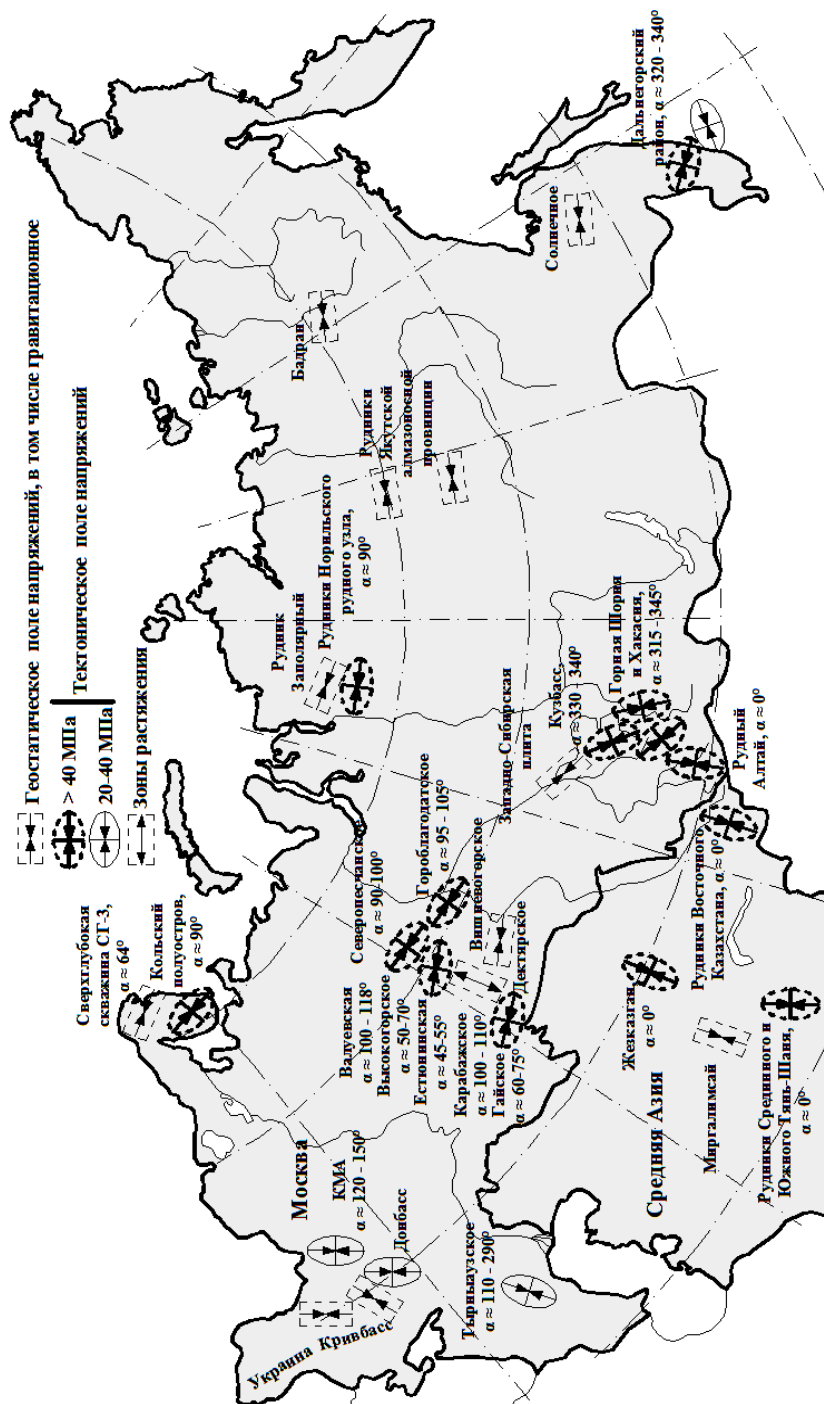


Рис. 1. Напряженное состояние горных пород по данным натурных измерений на рудниках России и ближнего зарубежья

Определенный интерес вызывает оценка НДС горных пород на зарубежных рудниках. Наиболее изученными районами Северной Америки являются Калифорния, горная складчатость Аппалачи, Кордильеры и рудные провинции в пределах Канадского щита (рис. 2а, б). Для этих и подобных регионов характерно преобладание тектонических напряжений, превышающих вес столба покрывающих пород в 1.2 – 3.0 раза [4-6].

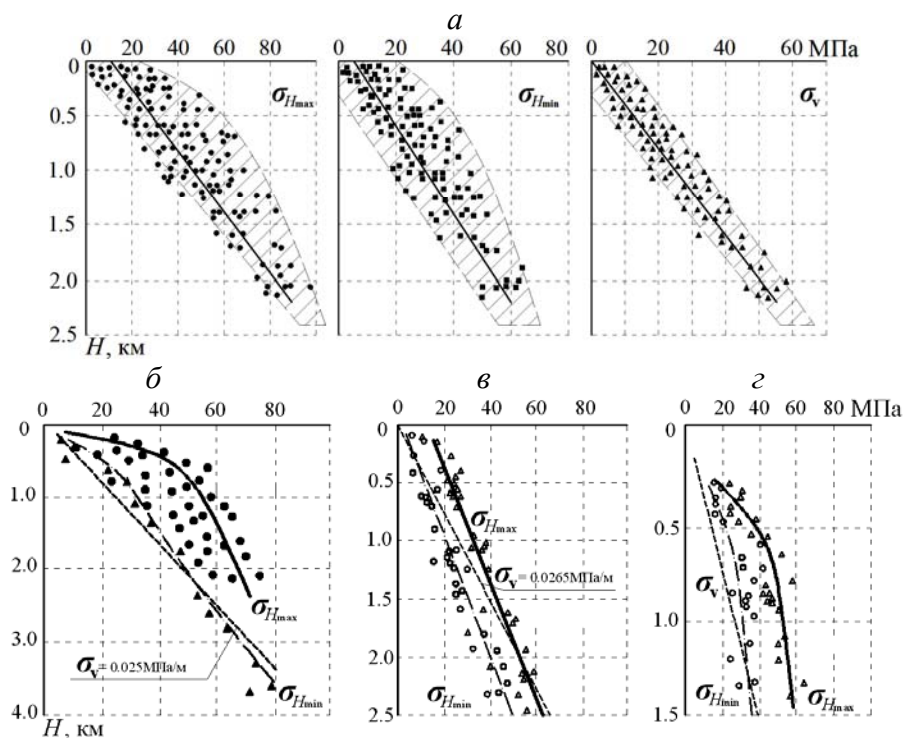


Рис. 2. Изменение природного поля Земли с глубиной в условиях преобладания максимальных горизонтальных напряжений: а — Канадский щит [В. Arjang, 2001]; б — США [М. Zoback, 2000]; в — ЮАР [Е. Brown, 2004]; г — Япония [Т. Kanagawa, 1986]; (σ_v , σ_{Hmax} , σ_{Hmin} — вертикальные, максимальные и минимальные горизонтальные напряжения)

На рудных месторождениях Скандинавии, также наблюдается аналогичная картина: горизонтальные напряжения превышают вертикальные в 1.2 – 3.0 раза. Это обусловлено расположением их в пределах относительно стабильной тектонической структуры [7]. Исключением являются рудники Норвегии (Муфельетт, Редсанн и Леккен), расположенные в границах Каледонского горного хребта, для которых характерна явно выраженная гравитация [8].

В Центральной Европе измерениям подверглись Альпийская складчатая область и Рейнский грабен. На основе экспериментальных данных, установлено преобладание двух полей напряжений. В пределах Западноевропейской платформы напряженное состояние массива пород оценивается как гравитационно-тектоническое, где горизонтальные напряжения изменяются от 0.5 до 1.5 γH [9]. Альпийская горная складчатость относится к мобильным областям. Здесь величины горизонтальных напряжений до 3-х раз превышают вертикальные, достигая максимума в центральных районах гор [9].

Одними из глубоких в мире являются рудники Южной Африки, представляющие собой уникальный плацдарм для натуральных исследований НДС горных пород [10]. Глубина подземных работ в ЮАР превысила отметку 4000 м (рудник Тау-Тона). Особенностью региона является увеличение до глубины 1000 м соотношения средних горизонтальных напряжений к вертикальным до 2.0 γH (рис. 2в). С дальнейшим ростом глубины величина этого соотношения постепенно уменьшается до (1.0 ÷ 0.7) γH со стабилизацией на уровне 0.75 [9].

По результатам измерений в Японии [11] величины тектонических сил, как правило, превышают вертикальные напряжения и находятся в диапазоне 1.0 – 1.5 γH достигая в некоторых случаях 2.0 γH и более (рис. 2г).

На основе обобщения комплексных данных, особенностей формирования природных полей напряжений, установленных в земной коре, отметим следующее.

Тектоническое поле напряжений, неоднородно по сравнению с гравитационным. Его параметры могут значительно изменяться как в пространстве, так и во времени. По общему мнению специалистов, возникновение повышенных горизонтальных напряжений объясняется современными тектоническими процессами. Это связано с геологическим строением мас-

сиров пород, поднятием и опусканием отдельных структурных блоков, горизонтальными и вертикальными перемещениями литосферных плит и тангенциальным сжатием земной коры.

Результаты измерений на действующих предприятиях с учетом данных геодинамического районирования, свидетельствуют о нелинейном характере изменения максимальных горизонтальных напряжений с глубиной, величина которых неуклонно стремится к равновесному состоянию, близкому к γH , независимо от структурного строения и места расположения рудных месторождений (рис. 3). Основной особенностью высоконапряженных массивов пород является снижение градиента роста тектонической составляющей по отношению к γH .

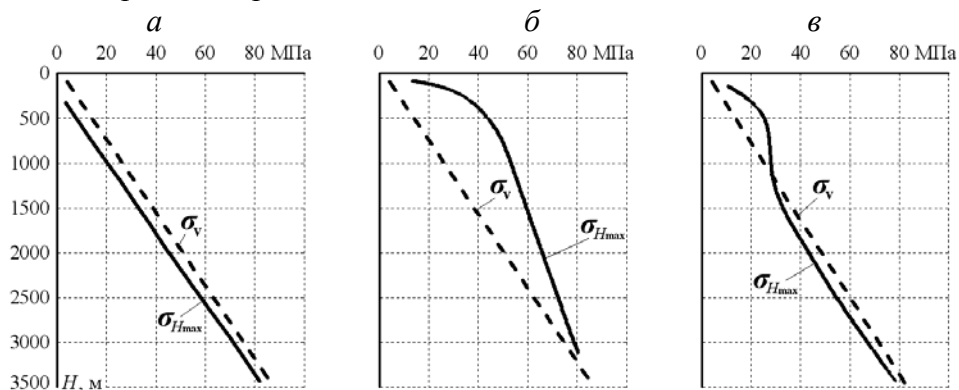


Рис. 3. Закономерности изменения максимальных горизонтальных напряжений, характерные для различных регионов и геологических структур: *а* – молодые платформы, грабены, материковые окраины; *б* – устойчивые фундаменты, кристаллические щиты, горно-складчатые системы; *в* – подвижные щиты и платформы.

Увеличение глубины горных работ, в общем случае, сопровождается ростом горизонтальных напряжений в абсолютном значении и снижением их соотношения с вертикальными напряжениями в относительном выражении. На глубинах до 600 м значения коэффициента бокового давления (λ), определяемого как отношение максимальных горизонтальных напряжений к γH , изменяются в широком диапазоне от 0.5 до 5.0. Измерениями на более глубоких горизонтах (> 1500 м) большинства разрабатываемых месторождений это соотношение составляет $0.5 \div 1.2$.

Связь напряженного состояния массивов горных пород с тектоническими структурами

Месторождения полезных ископаемых, как правило, формируются в условиях определенных геолого-тектонических структур. Под тектонической структурой понимаются геологические участки земной коры блочного строения, различного масштаба, морфологии, генезиса и условия залегания.

Выделяются следующие типы тектонических структур: Алтае-Саянская, Восточно-Азиатская, Альпийская, Урало-Монгольская горно-складчатые области, Тянь-Шань, Памир, Аппалачи (США, Канада), Палеозойская горно-складчатая система (Урал), Западно-Сибирская, Восточно-Европейская (Балтийский, Украинский, Казахский щиты, Рейнский грабен) Западно-Европейская, Восточно-Австралийская платформы, Каледонский горный хребет (Норвегия), Канадский щит, Африканская платформа, активные континентальные окраины и др. (табл. 1). На этих геологических объектах выполнены наиболее представительные исследования и измерения напряженно-деформированного состояния пород [12].

Основные типы тектонических структур рудных месторождений, с учетом их принадлежности к геологическим особенностям залегания массивов горных пород, можно охарактеризовать следующим образом (рис. 4).

По масштабному фактору выделяются платформы, которые обычно граничат с надвинутыми на них складчатыми поясами и вертикальными разломами в океанах. В массивах горных пород этих областей преобладают малые скорости тектонических движений, практически отсутствует сейсмика и характерно в общем случае относительно простое строение. Щи-

ты и фундаменты платформ, как правило, обладают высокой прочностью, слабой трещиноватостью и характеризуются направленностью к поднятию. Среди них отмечаются относительно стабильные и подвижные щиты с выдержанными и резко нестабильными полями тектонических напряжений. Например, для Балтийского и Канадского щитов свойственен тектонический режим нагружения горных пород. Для Украинского – как тектоническое, так и гравитационное поле напряжений. Это объясняется тем, что последний перекрыт осадочным чехлом с образованием сложной субмеридиональной складчатой зоны и преобладанием продольных разломов и надвигов [13-14].

ТАБЛИЦА 1. Виды напряженного состояния массивов горных пород, характерные для определенных типов тектонических структур.

Тип тектонической структуры	Наименование тектонической структуры	Напряженное состояние геосреды *
1. Устойчивые фундаменты и стабильные щиты платформ.	Балтийский, Украинский, Казахский, Канадский, Индостанский и другие щиты, фундаменты Восточно-европейской, Русской платформ.	В большинстве случаев характерен спокойный тектонический режим. Максимальные напряжения действуют в горизонтальной плоскости. ($\sigma_1 \approx \sigma_{Hmax}$)
2. Платформенные осадочные чехлы, устойчивые платформы.	Осадочные чехлы Западно-Европейской, Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ. Бассейны Уиллстон, Мичиган, бассейны пермского периода, Восточный Техас, Соньлиао, Сичуань (Китай).	Незначительная тектоника, преобладание разрывных нарушений пликативного типа. Отсутствует взбросовая деятельность. Сравнительно простое напряженное состояние. Локальные осложнения НДС могут быть вызваны наличием множественных разломов, сводов, вздыманий и т.д. ($\sigma_1 \approx \sigma_v$)
3. Подвижные щиты и платформы.	Африканская платформа.	Нетектонический режим нагружения, преобладание гравитационных напряжений. Тектонотип платформенных окраин. ($\sigma_1 \approx \sigma_v \approx \sigma_{Hmax}$)
4. Молодые подвижные платформы, грабены, материковые окраины.	Западноевропейская, Восточно-Австралийская Западно-Сибирская платформы, Рейнский грабен, Калифорния, Суматра, Колумбия.	Характерен сбросовый режим. Напряженное состояние стремится к гидростатическому равновесию, в некоторых случаях преобладает тектоническое поле. ($\sigma_1 \approx \sigma_v \approx \sigma_{Hmax}$)
5. Рифты.	Рифтовые зоны грабенов, Восточно-Африканский рифт и др.	Присдвиговое растяжение, разгрузка, сейсмика, гравитационное распределение напряжений. ($\sigma_1 \approx \sigma_v$)
6. Островные дуги, шарьяжи, граничащие с мировым океаном.	Японские, Марианские острова, каледонская складчатость Норвегии, горные системы, представленные шарьяжами, примыкающими с одной стороны к мировому океану и разгружающие массивы от действия высоких тектонических напряжений.	Выдержанный и не стабильный тектонические режимы. Максимальные напряжения действуют, как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях. ($\sigma_1 \approx \sigma_v \approx \sigma_{Hmax}$)

7. Складчатые области слабого горообразования и релаксации подвижных поясов.	Герцинские горно-складчатые системы, Уральская складчатая зона, Центрально-азиатский ороген.	Параметры тектонического поля напряжений соответствуют стабильным и подвижным структурам. Распространены зоны сжатия, связанные с процессами горообразования. ($\sigma_1 \approx \sigma_{Hmax}$)
8. Мобильные сейсмоактивные горно-складчатые системы. Геосинклинальные складчатые пояса.	Алтае-Саянская, Восточно-Азиатская, Альпийская, Урало-Монгольская горно-складчатые области, Тянь-Шань, Памир, Аппалачи, Скалистые горы (США, Канада), каледонские горные системы, тектонические шаржи.	Развитая тектоника, вулканизм, сейсмика и разрывные нарушения. Сложное напряженное состояние. Распространены зоны сжатия, связанные с горными хребтами. Верхние части земной коры являются наиболее дислоцированными. Максимальные напряжения действуют в горизонтальной плоскости. ($\sigma_1 \approx \sigma_{Hmax}$)

* $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ – максимальные, промежуточные и минимальные главные напряжения, σ_v , σ_{Hmax} , σ_{hmin} – вертикальные, максимальные и минимальные горизонтальные напряжения

Платформенные чехлы практически повсеместно представлены осадочными горными породами с незначительной тектоникой пликативного вида. Механическое состояние осадочного покрова характеризуется общей тенденцией к опусканию и прогибанию фундамента с преобладанием сбросовых нарушений. В подобных областях уровень естественных напряжений, как правило, ниже, чем в активных зонах независимо от физико-механических характеристик горных пород и определяется в основном гравитационными силами [3, 13]. Тем не менее, в отдельных регионах отмечаются избыточные сжимающие напряжения, выявленные на Североамериканской, Африканской, Восточно-Европейской и Индостанской платформах.

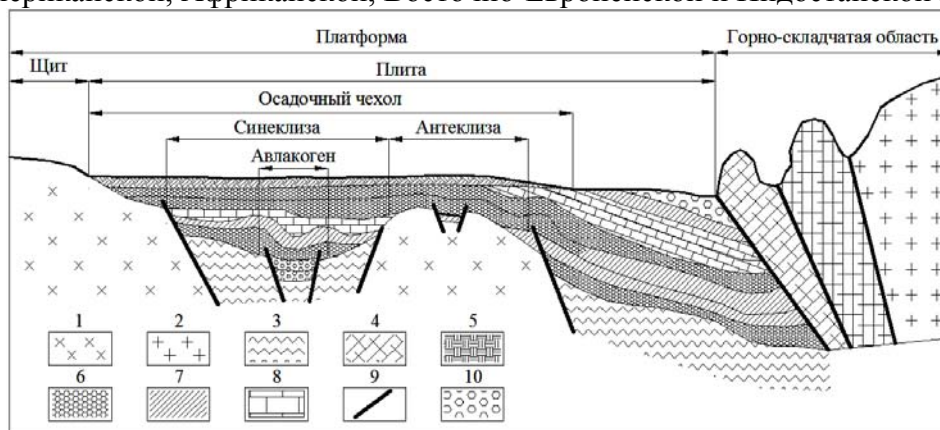


Рис. 4. Принципиальный геологический разрез по основным типам тектонических структур: 1 – магматические комплексы фундамента платформы; 2 – магматические комплексы горно-складчатой области; 3 – метаморфические комплексы фундамента платформы; 4 – метаморфические комплексы горно-складчатой области; 5 – породы осадочного покрова; 6 – песчаники и пески; 7 – аргиллиты и глины; 8 – карбонатные породы (известняки); 9 – нарушения и разломы; 10 – обломочные породы

Горно-складчатые области имеют более сложное и неоднородное строение, представляющие собой наиболее нарушенные участки земной коры. Для них характерны как спокойный тектонический режим, так и развитый вулканизм, сейсмика и разрывные нарушения. В геологических структурах данного типа горизонтальные напряжения по своим значениям во всех случаях превосходят вертикальные [15]. Некоторые горно-складчатые системы, например, Норвежские каледониды, испытавшие процессы разгрузки в геологической истории, характеризуются преобладанием гравитационного поля напряжений, распространяющегося до уровня их долин или подножья гор.

Необходимо отметить особенности геомеханических условий в стабильных складчатых системах. К ним относятся Уральский хребет и часть горных систем Северной Америки. Для этих территорий характерным является отсутствие сейсмичности. Преобладающим здесь является тектоническое поле напряжений, вызванное взбросовыми перемещениями, в некоторых случаях – равнокомпонентное [13, 16].

Своеобразными тектоническими структурами являются активные окраины и островные дуги. Они представляют собой одни из самых сейсмоактивных областей земной коры. Приуроченность большинства действующих вулканов мира к данному тектонотипу массивов горных пород является их характерной особенностью [16].

Накопленный отечественный и зарубежный опыт работы горных предприятий свидетельствует об общности параметров полей напряжений для месторождений в различных частях Земной Коры, имеющих подобные структурно-геологические условия и глубину разработки. Интересно отметить, что однотипные тектонические структуры оказываются в условиях, весьма близких по напряженному состоянию. Например, для массивов горных пород с пологим залеганием залежей, в которых отсутствуют явно выраженные следы тектонической деятельности, наиболее вероятно ожидать преобладание максимальных по величине вертикально ориентированных напряжений и, наоборот, в условиях складчатых систем и преобладания развитой тектоники – максимальных горизонтальных напряжений.

Геомеханические модели геосреды

Выбор моделей геосреды по виду напряженного состояния базируется на раскрытии закономерностей распределения напряжений в недрах в целом и на отдельных участках литосферы с учетом их осредненных региональных геолого-геофизических характеристик. Различные типы геолого-тектонических структур соответствуют определенным видам НДС породного массива. Совокупный анализ этих двух факторов позволяет обосновать краевые условия для решения практических задач геомеханики и на их основе производить выбор систем разработки, параметры безопасной выемки рудных залежей, в том числе на больших глубинах.

Для количественной оценки НДС массивов пород использовались натурные данные измерений на действующих и строящихся рудниках, включая зарубежные [12]. Аппроксимация закономерностей распределения высоких горизонтальных напряжений осуществлялась при условии выравнивания последних с гравитационными на глубинах до 3500 м. Посылками принятия в качестве краевой глубины величины 3500 м послужили данные по глубоким рудникам ЮАР, сверхглубокой Кольской скважине СГ-3 [12, 17] и теоретически-прогнозным исследованиям, выполненным отечественными и зарубежными специалистами [4, 5, 9, 10]. Достоверность этого положения раскрыта на рис. 5а, где отмечается стремление напряженного состояния земной коры, независимо от тектонотипа массивов горных пород, к объемному равновесию.

На основе корреляционного анализа выделяется четыре вида геомеханических моделей геосреды, графическая интерпретация которых приведена на рис. 5б.

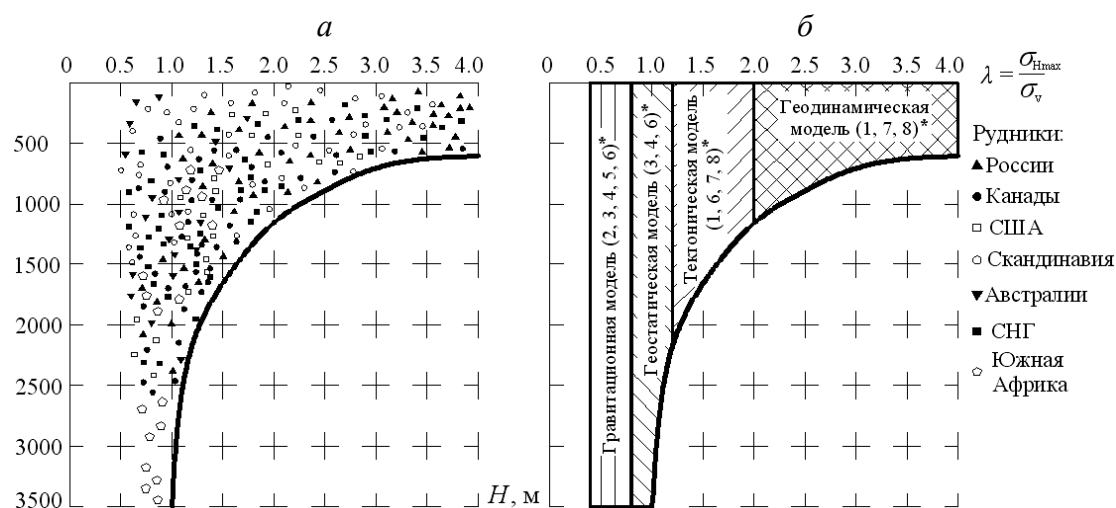


Рис. 5. Параметры напряженного состояния геосреды на различных месторождениях мира с ростом глубины залегания (а) и виды геомеханических моделей массивов пород (б), построенных с учетом тектонических структур: * – тип тектонической структуры из табл. 1.

Выделенные виды напряженного состояния удовлетворительно моделируются логарифмическими, степенными и прямолинейными функциями, которые характерны соответственно для *геодинамической*, *тектонической*, *геостатической* и *гравитационной* моделям геосреды (табл. 2).

Значения установленных напряжений на месторождениях полезных ископаемых, расположенных в выделенных типах геолого-тектонических структур (см. табл. 1) имеют высокую сходимость с данными натуральных измерений (коэффициент корреляции составляет > 0.87).

Для геодинамической модели характерны аномально высокие горизонтальные напряжения. Величина их соотношения с вертикальной составляющей (коэффициент бокового давления λ) составляет более 2.0. Минимальные горизонтальные напряжения соответствует промежуточному главному σ_2 .

Тектоническая модель отличается более низким значением коэффициента λ , который находится в интервале 1.2÷2.0. При решении практических задач геомеханики с ростом глубины горных работ грань между геодинамической и тектонической моделями напряженного состояния массива горных пород практически исчезает.

К геостатической модели геосреды относятся месторождения, напряженное состояние которых соответствует равнокомпонентному распределению. Величина бокового давления с учетом значительной анизотропии напряжений находится в пределах $0.8 \leq \lambda \leq 1.2$. Ярким примером такого напряженного состояния являются месторождения Криворожского железорудного бассейна, ЮАР и некоторые в Центральной Европе.

ТАБЛИЦА 2. Соответствие геомеханических моделей геосреды типу тектонических структур

Вид геомеханических моделей	Связь напряженного состояния с глубиной*	Тип тектонической структуры	Коэффициент корреляции
Геодинамическая $300 \leq H \leq 1300$ $2.0 \leq \lambda \leq 5.0$	$\sigma_{H \max} = \alpha \lambda^x \ln(\gamma H) - \delta \approx \sigma_1$ $\sigma_{h \min} = \frac{(\sigma_{H \max} + \sigma_v)}{2} \approx \sigma_2$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_3$	Устойчивые фундаменты и стабильные щиты платформ. Мобильные сейсмоактивные горно-складчатые системы. Выдержанный и сложный тектонический режим.	> 0.87
Тектоническая $300 \leq H \leq 2000$	$\sigma_{H \max} = 2,8 e^{\kappa \lambda} \gamma H^{0.7} \approx \sigma_1$ или	Мобильные сейсмоактивные горно-складчатые	> 0.88

$1.2 \leq \lambda \leq 2.0$	$\sigma_{H \max} \approx \psi \lambda^{\kappa} \gamma H + \theta \approx \sigma_1$ $\sigma_{h \min} = (0,6 \div 0,85) \sigma_{H \max} \approx \sigma_2$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_3$	системы, геосинклинальные складчатые и подвижные пояса, тектонические шарьяжи. Невыдержанный тектонический режим.	
Геостатическая $300 \leq H \leq 5000$ $0.8 \leq \lambda \leq 1.2$	$\sigma_{H \max} = \lambda \gamma H \approx \sigma_1 \approx \sigma_2$ $\sigma_{h \min} = (0,8 \div 1,0) \sigma_{H \max} \approx \sigma_3$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_1 \approx \sigma_2$ $\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3 \approx \gamma H$	Молодые подвижные платформы, грабены, островные дуги, шарьяжи. нетектонический и сбросовый режимы.	> 0.90
Гравитационная $300 \leq H \leq 5000$ $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$	$\sigma_{H \max} \approx \lambda \gamma H \approx \sigma_2$ $\sigma_{h \min} \approx \lambda \gamma H \approx \sigma_3$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_1$	Платформенные осадочные чехлы, подвижные щиты и платформы, рифты, Каледониды в виде надвинутых шарьяжей.	> 0.92

*Примечание: в таблице γ – объемный вес налегающих пород, МН/м³; H – глубина залегания пород, м; λ – коэффициент бокового давления, (распора); ν – коэффициент Пуассона; κ – эмпирический коэффициент, учитывающий деформационно-прочностные свойства горных пород. Для весьма прочных пород $\kappa = 0,17 \div 0,30$, для пород средней прочности и ниже $\kappa = 0,10 \div 0,17$; α , δ , ψ и θ – эмпирические коэффициенты пропорциональности, $\alpha \approx 32 \div 37$, $\delta \approx 65 \div 80$, $\psi \approx 0,8 \div 0,9$, $\theta \approx 5 \div 10$.

Доля месторождений с гравитационным видом напряженного состояния в общей структуре добычи полезных ископаемых, составляет не более 20 %. Подобные геомеханические условия широко распространены в осадочных чехлах платформ (большинство угольных месторождений), а также грабенах, шарьяжах и каледонидах, надвинутых на более прочные кристаллические щиты. Преобладание гравитационных напряжений прослеживается в рудных полях расположенных выше уровня дна долин, подножья гор, местных базисов эрозии и в горных объектах, нагруженных собственным весом. Этот вид согласуется с гипотезой Динника – значения горизонтальных напряжений определяются величиной бокового отпора через коэффициент Пуассона.

Предложенные модели геосреды описывают общие закономерности НДС массивов пород, свойственные тем или иным тектоническим структурам. При прогнозировании исходного поля напряжений с глубиной на отдельных месторождениях или их участках необходимо учитывать также региональные особенности тектонических нарушений различного порядка, которые могут вносить коррективы в параметры поля напряжений.

Выводы.

Горно-геологические условия и механические свойства горных пород находятся в сложной зависимости от типа региональных структурных особенностей, их генезиса, блочности, интенсивности современных движений, нарушенности массивов и влияния границ взаимодействия литосферных плит. Аномальное превышение горизонтальных напряжений естественного поля Земли над вертикальными может достигать 5.0 и более раз. На месторождениях магматического и метаморфического типов наиболее часто это соотношение встречается на уровне 1.5 – 3.0. Для большинства подземных рудников мира установлено, что концентрация тектонических напряжений достигает своего относительного максимума в интервале глубин 400 – 600 м, дальнейшее увеличение которой обуславливает стремление массивов горных пород к равнокомпонентному распределению сил.

Сопоставление данных различных авторов показывает, что на современном уровне развития горных работ нет единой количественной оценки напряженного состояния массивов тек-

тонических структур, которая была бы универсальной и в равной степени пригодной не только для геологов и тектонистов, но и для проектировщиков горного производства.

На основе выполненных исследований выделено *восемь* тектонотипов массивов горных пород, механическое состояние которых можно описать *четырьмя* видами геомеханических моделей. Последние характеризуются различными соотношениями величин и направлений действия преобладающих напряжений, которыми охвачено более 75 % разрабатываемых месторождений мира.

Предложенная систематизация массивов горных пород позволяет по типу и особенностям тектонических структур отнести действующие и разведанные месторождения к определенному классу геомеханических условий отработки с учетом глубины и, по полученным исходным данным, прогнозировать на стадии проектирования и строительства подземных предприятий величины действующих напряжений, обосновать способы управления горным давлением, порядок развития горных работ, системы разработки и их параметры. Проблема правильной постановки прикладных задач для прогнозирования НДС массивов пород при обосновании способов добычи, может быть достаточно надежно решена путем использования соответствующих геомеханических моделей геосреды шахт и рудников.

Список литературы

1. Бронников Д.Н. Разработка руд на больших глубинах / Д.Н. Бронников, Н.Ф. Замесов, Г.И. Богданов / М.: Недра, 1982.
2. Марков Г.А. Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа / Г.А. Марков, С.Н. Савченко / Л., Наука. – 1984.
3. Леонтьев А.В. Анализ естественных напряжений по результатам измерений в рудниках на территории Северной Евразии // ФТПРПИ. — 2005. — № 4.
4. Tectonic stresses in the Alpine-Wediterranean region / Rock Mechanics. 1980. – № 9.
5. Arjang B. Database on Canadian in situ ground stresses. CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories / Division Report MMSL. – 2001.
6. Zoback M.L. Global patterns of tectonic stress nature / M.L Zoback, M.D. Zoback, J. Adams / Nature. – 1989.
7. Hast N. The state of stress in the upper part of the Earth's crusts determined by measurements of absolute rock stress // Naturwissenschaften. – 1974. – № 11.
8. Bjorn L.J. Natural stress values obtained in different parts of the Fennoscandian rock masses. – Proc. 2n Congr.Int.Soc. Rock Mech. Beograd. – 1970.
9. Fuchs. K. World Stress Map of the Earth: a key to tectonic processes and technological applications / K. Fuchs, B. Muller / Naturwissenschaften, 2001. – с. 357–371
10. Gey N.C. The state of stress in large dyke on K.R.P.M. Buksburg, South Africa. – Int. J. Rock Mech. Min. Sci. – 1980. – vol. 2.
11. Kanagawa T., Hibino S., Ishida I., Hayashi M., Kitahara Y. In Situ Stress Measurements in the Japanese Islands // Over-coring Results from a Multielement Gauge Used at 23 Sites.Int.J.Rjck Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr. Great Britain. – 1986. – V.23. № 1.
12. Неверов С.А. Современные представления о напряженном состоянии массивов горных пород с ростом глубины // ФТПРПИ. — 2012. — №2.
13. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. Наука. — 1975.
14. Кропоткин П.Н. Результаты измерений напряженного состояния горных пород в Скандинавии, в Западной Европе, в Исландии, Африке и Северной Америке. — Наука. — 1973.
15. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Фрунзе. Изд-во Илим. — 1987.
16. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. Научный мир. — Москва. — 2001.
17. Горбачевич Ф.Ф., Савченко С.Н. Современные напряжения в северной части Балтийского щита по данным исследованиям Печенгского геоблока и разреза Кольской сверхглубокой скважины // Геофизический журнал. — 2009. — Т.31. — № 6.