

УДК 622.831 (575.2) (04)

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ТЯНЬШАНЯ**

*Ш.А. Мамбетов* – докт. техн. наук, проф.,

*А.Р. Абдиев* – ст. преподаватель

---

On base of strain allocation regularities determined within the bounds of region the zonal and phased forecasting principle is formulated for a mode of deformation of rock mass.

Полезные ископаемые в условиях Тяньшаня разрабатываются открытым, подземным и комбинированным способами. Анализ опыта ведения горных работ показывает, что конструкции и технологии горных выработок при каждом способе разработки имеют свою специфику. Горные выработки выполняют функции производственных помещений, аккумулирующих емкостей, транспортных и воздухоподающих артерий. Они, развиваясь во времени, изменяют свои контуры и положения в пространстве. Соответственно возникает множество геомеханических задач по установлению наиболее рациональных схем развития карьера и порядков ведения подземных горных работ; определению допустимых вертикальных и горизонтальных обнажений пород; безопасной толщины потолочного целика над подземными пустотами; размеров опорных и барьерных целиков; выбору способов погашения, изоляции подземных пустот и др.

Изыскание, проектирование, строительство и эксплуатация карьеров и подземных горных выработок в условиях горной системы Тяньшань – чрезвычайно трудный процесс. Пересеченный горный рельеф (крутые скаты, обрывы, перевалы), сложные геологические, гидрогеологические и климатические условия (интенсивная нарушенность, обрушения, горные удары, оползни, осыпи, сели, снежные и каменные лавины) усложняют труд изыскателей,

проектировщиков, строителей и эксплуатационников. Довольно велики издержки производства в период строительства и эксплуатации рудников, шахт, поскольку месторождения находятся в горно-геологических условиях, отличающихся крайне невыдержанными элементами залегания, большим разнообразием форм, свойств пород. Породный массив, где ведутся горные работы, представляет собой весьма сложную среду, неоднородную в пространстве и во времени.

Разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий месторождений, недостаточная изученность влияния большинства факторов на проявление горного давления чрезвычайно затрудняют принятие обоснованных решений по управлению состоянием породного массива. Как правило, эти решения принимаются лишь на основе накопленного производственного опыта, статистических и эмпирических закономерностей. Большинство способов охраны и крепления выработок ориентированы лишь на пассивное противодействие проявлениям горного давления. Практически отсутствуют попытки активного управления горным давлением, так как отсутствует инженерный метод, позволяющий прогнозировать напряженное состояние нетронутого породного массива и вблизи горной выработки в динамике горных работ.

Анализ экспериментальных измерений напряжений в породных массивах на территории Тяньшаня [1–3] показывает следующие особенности распределения напряжений в породном массиве региона.

Во-первых, горизонтальные напряжения по своим значениям превосходят вертикальные, во-вторых, на равных глубинах от дневной поверхности в крепких породах горизонтальные напряжения имеют более высокие значения, чем в относительно слабых (средних по прочности), в-третьих, вертикальные напряжения в среднем близки к значению  $\gamma H$  ( $\gamma$  – объемный вес пород,  $H$  – глубина рассмотрения от дневной поверхности) независимо от прочности горной породы.

Нельзя также не заметить, что одноименные горизонтальные напряжения в породных массивах месторождений, расположенных друг от друга на больших расстояниях (сотни и тысячи километров) в пределах территории Тяньшаня на равных глубинах и в породах, близких по прочности, лишь незначительно отличаются друг от друга.

Сопоставление результатов определения естественных напряжений, полученных на рудниках региона, с результатами их расчета по зависимости, основанной на гипотезе А.Н. Динника, показало весьма значительные расхождения между измеренными и расчетными значениями напряжений.

В условиях Тяньшаня главные нормальные напряжения нетронутого породного массива ориентированы субгоризонтально в субмеридиальном направлении. В пределах глубин от 100 до 1000 м в крепких породах горизонтальные напряжения превосходят вертикальные в 2,0–4,0 раза, а в трещиноватых породах средней прочности – в 1,2–1,8 раза. Превышение горизонтальных напряжений над вертикальными и основную ориентировку главных нормальных напряжений в породном массиве Тяньшаня наиболее логично и убедительно можно обеспечить с позиции теории тектонических плит. Давление Индо-Австралийской плиты на Евроазиатскую, вызывающее перемещение Памира в северном (субмеридиальном) направлении, обуславливает формирование в земной коре среднеазиатского поля горизонтальных напряжений.

Последовательная смена тектонических режимов в Тяньшане обусловила формирование, по меньшей мере, трех структурных этажей: складчатого фундамента, сложенного формациями геосинклинального этапа развития, платформенного чехла и орогенного комплекса, отражающего события новейшего тектонического этапа.

Каледонскими и герцинскими движениями был создан нижний структурный этаж – жесткий фундамент из палеозойских сильно дислоцированных и трещиноватых пород разного генезиса и состава, образующих ряд структурно-фациальных зон. На месте пенеплизированной его поверхности, возникшей к концу верхнего палеозоя, в результате альпийской складчатости, особенно новейших орогенических движений, были сформированы: средний (мезокайнозойский) и верхний (четвертичный) структурные этажи; новейшие складчатые и складчатоглыбовые структурные формы, резко выраженные в современном рельефе – сложные поднятия (хребты) и не менее сложные прогибы (межгорные впадины), нередко унаследованные от структурного плана герцинского этапа.

Складчатая зона является основной единицей тектонической карты [4, 5] Тяньшаня. Она выделяется по комплексу следующими признаками: возрасту складчатости, типом разреза, типом складчатых структур, магматизмом и метаморфизмом.

Под тектонической зоной понимается часть геосинклинальной области, характеризующейся по всей своей площади принципиально одинаковым тектоническим режимом. В складчатой структуре тектонические зоны, оконтуренные швами глубинных разломов, обособляются по типу стратиграфического разреза (мощность отложений, фациальный состав, характер взаимной структуры и ее морфология), по характеру магматической деятельности зоны.

Гетерогенная глубинно-глыбовая структура Тяньшаня сказалась на последующих тектонических напряжениях: сравнение карты плотностей землетрясений со схемой глыбовой структуры показало, что конфигурация сейсмических зон в общих чертах повторяет ряд особенностей рисунка глыбовой структуры, демонстрируя тем самым существенную

между ними взаимосвязь. Установлены взаимосвязи азимутов направлений максимальных горизонтальных напряжений, измеренных в породных массивах, с азимутами направлений неотектонических напряжений в соответствующих складчатых зонах.

Горообразовательные движения в Тяньшане [5, 6] во времени и пространстве протекали вполне закономерно, образуя ряд преимущественно широтно вытянутых “силовых полей”, в пределах которых ориентировка движений была строго направленной: либо с юга на север, либо с севера на юг. Каждое такое “поле” в структурном плане объединяет определенную систему мегаантиклиналей (хребтов), мегасинклиналей (межгорных впадин), связанных единством процесса формирования, со свойственными ей чертами строения и взаимоотношения структурных форм, а также миграций областей сноса и осадконакопления. Все это дает основание принять неотектоническое районирование, приведенное в работах [5–7], как первичный материал для геологической оценки складчатой зоны.

Горизонтальные напряжения в породном массиве Тяньшаня представляют собой сумму трех составляющих: горизонтальной компоненты напряжений, включающей остаточные магмотогенные напряжения, сохранившиеся после упругопластического деформирования и разрушения пород; горизонтальной компоненты, обусловленной современной тектоническими процессами; горизонтальной компоненты гравитационного поля напряжений.

Сопоставление результатов измерения напряжений в натурных условиях с неотектоническими данными Тяньшаня [8] указывает на непосредственную связь между измеренными полями напряжений и длительными движениями земной коры, т.е. напряженное состояние породного массива является продуктом всего процесса образования геологических структур. Поэтому в соответствии с геологической структурой рассматриваемой области Тяньшаня можно разграничить зоны с одинаковым поведением в движении и постоянным в пространстве напряженным состоянием.

Наличие горизонтальных полей напряжений с зональными распределениями по направлению действия, взаимосвязь складчатых

и разрывных структур в регионе указывают на то, что всестороннее изучение особенностей новейших и современных движений земной коры и взаимодействие ее блоков представляется наиболее перспективным путем отыскания способов долгосрочного прогнозирования состояния породного массива при ведении горных работ.

Для данного региона установлено, что высшие формы складчатых нарушений являются определяющими по отношению к низшим, и это дает возможность перейти к следующему этапу прогнозирования напряженного состояния породного массива уже в пределах рассматриваемого месторождения.

На этом уровне оценки и может производиться схематизация изучаемого породного массива, т.е. строится его структурная модель.

Следующим уровнем будет массив вокруг горной выработки. Важнейшими характеристиками оценки массива вблизи горной выработки являются величина и характер распределения напряжений в нем. Задача распределения напряжений аналитически решена в статике многими исследователями как в плоскости, так и в объеме. Определен характер распределения напряжений в массиве. Реальный массив в процессе ведения горных работ находится в условиях непрерывно меняющейся горнотехнической обстановки под действием изменчивого горного давления, фактора времени и др. Под влиянием этих факторов изменяется динамика напряжений и деформаций. Имеющиеся экспериментальные данные противоречивы. Распределение напряжений по сечению выработки характеризуется одной, двумя и тремя зонами концентрации. В большинстве случаев исследователи объясняют это параметрами выработок и структурными факторами.

При оценке устойчивости массива наиболее важной является проблема регистрации момента разрушения пород или наступления предела прочности пород. В массиве определение предела прочности пород сталкивается со следующими трудностями:

- предел прочности породы является величиной переменной, так как зависит от вида напряженного состояния. Предел прочности изменяется от минимальной величины

при одноосном сжатии до максимальной при гидростатическом сжатии;

- имеющиеся методы измерения напряжений в массиве непригодны для оценки критических напряжений в связи с тем, что расчет напряжений основан на аппарате теории упругости, в то время как породы в критическом состоянии находятся за зоной упругости;
- разработанные в настоящее время теории по оценке поведения пород за зоной упругости весьма сложны и пока не пригодны для практических целей. В то же время задача регистрации момента наступления предела прочности пород в массиве является весьма актуальной.

На основании установленных закономерностей и фактов – наличие высоких горизонтальных тектонических напряжений с зональными распределениями по направлению действия в пределах горной системы Тяньшань; возможность оценки состояния массива вблизи горных выработок с помощью геоакустических параметров массива – сформулирован принцип зонального и поэтапного прогнозирования напряженно-деформированного состояния породного массива:

- ✓ геологическая оценка, при которой устанавливаются азимуты направлений тектонических напряжений в пределах складчатой зоны;
- ✓ горно-геологическая оценка, при которой устанавливаются азимуты направлений тектонических напряжений и зоны влияния рельефа в пределах месторождения погоризонтно;
- ✓ горнотехнологическая оценка, при которой устанавливается величина и распределение напряжений вблизи горных выработок. Контролируется их изменение в динамике развития горных работ.

Основой рекомендованного принципа служит системно-структурный подход к оценке напряженно-деформированного состояния породного массива, в котором объединяются важнейший постулат системного анализа [9] – необходимость и возможность модельного отражения реальной действительности, а также представления об иерархичности тектонических деформаций, движений земной коры и

связанных с ними полей тектонических напряжений.

В условиях неоднородной, сложно построенной геологической среды, сложного подчинения тектонических структур разного порядка, интерференции тектонических движений, связанных со множеством взаимодействующих факторов, имеющих разную природу, глубину заложения и проявляющихся на протяжении различных отрезков времени, выделение определенных ступеней в иерархической лестнице тектонических структур оказывается возможным только благодаря тому, что каждая может рассматриваться и функционировать как единое целое. Тектонические движения, деформации и поля напряжений характеризуются иерархичностью, которая определяется прежде всего многофакторностью сложных тектонических процессов. Выделение определенной ступени в иерархической лестнице тектонических деформаций определяется, в конечном итоге, возможностью описания какого-либо объема литосферы как тела, обладающего квазиоднородными физическими свойствами и в пределах которого, отвлекаясь от усложняющих деталей, можно выделить однотипные поля напряжений и деформаций, которые можно связать с действием одного комплекса факторов.

В условиях сложной геологической среды однородность объемов литосферы, определяющих ранг тектонических напряжений и деформаций, должна носить статистический характер. Та граница, выше которой среда должна рассматриваться как неоднородная, а ниже которой свойства отдельных частей ее статистически усредняются и проявляются как новое интегральное качество среды и определяет переход к новому уровню, новой тектонодинамической системе, определяющей особенности тектонических движений и деформаций нового структурного уровня и соответствующее поле напряжений. Прослеживание этих границ на разных масштабах дало возможность построить системную модель тектоносферы, позволяющую с единых позиций описать деформации и поля напряжений различных объемов литосферы от земного шара и таких крупных неоднородностей, как континенты и океаны и до отдельного зерна горной

породы. Возможность таких переходов была проанализирована М.В. Рацем [10], результатом чего явилась его диаграмма структурной неоднородности, широко используемая в наших построениях. В отличие от этой диаграммы, на нашей модели при движении снизу вверх, от тектонодинамических систем низших рангов к высшим, мы последовательно переходим от статически однородных объемов месторождения к неоднородным, при этом как те, так и другие могут находиться на различных структурных уровнях.

Преимущество такой модели, как и любой другой системной модели подобного рода, заключается в ее формализованности и априорной изоморфности природному объекту, т.е. в универсальности. Она удобна, потому что позволяет ставить вопрос о непосредственном картировании однородных в масштабе рассмотрения участков земной коры, являющихся областью функционирования тектонодинамической системы определенного уровня, выяснить взаимоотношения различных механизмов деформации земной коры на различных структурных уровнях и, что наиболее важно, с единых позиций рассматривать во взаимодействии тектонические деформации, структуры земной коры, тектонические движения поля напряжений.

*Геологическая оценка.* Производится в пределах складчатой зоны, где устанавливается азимут направления тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам крупных складок и разрывных нарушений – по существу являющейся “физической памятью” породного массива Тяньшаня, хранящей обширную информацию о его структурно-геологических преобразованиях в прошлом.

Этап является предварительным долгосрочным прогнозированием состояния пород в пределах тектонической единицы – складчатой зоны и может быть использован в практических работах. Так, месторождения Хайдаркан, Кадамжай, Улуу-Тоо относятся к Туркестанской зоне юго-западной части Фергано-Кактаальской области Южно-Тяньшаньской складчатой системы и имеют азимут направления горизонтальных напряжений сжатия С-СЗ  $355^{\circ}$ .

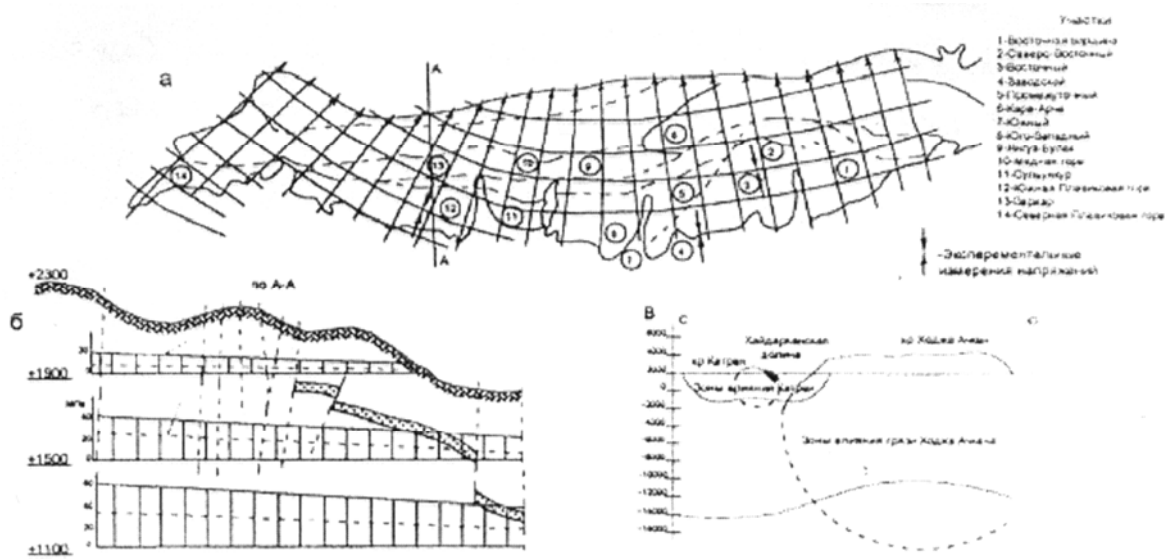
*Горно-геологическая оценка.* Производится в пределах месторождения погоризонтно, посредством определения азимута направлений тектонических напряжений и зоны влияния рельефа. Является среднесрочным прогнозированием состояния породного массива.

Практическое осуществление данного уровня оценки связано с геологической изученностью месторождения. Достоверные данные о напряженном состоянии породного массива месторождения (см. рисунок) позволяют принимать обоснованные решения по схеме развития горных работ, технологическим вопросам освоения на стадии проектирования, строительства и эксплуатации месторождения.

*Горно-технологическая оценка.* Устанавливается распределение напряжений и контролируется их изменение вблизи горной выработки. Является краткосрочным прогнозированием состояния породного массива.

Так как требованиям горно-технологической оценки состояния массива полностью не удовлетворяет ни один класс (деформационный, структурный, сейсмический, электромагнитный, радиометрический) развиваемых методов определения напряжений и контроля состояния массива пород, нами разработаны критерии оценки напряженного состояния по геоакустическому контролю вблизи и вне влияния горных разработок:

- характер распределения напряжений в массиве, определяющий по распределению акустического модуля;
- критическое напряжение, наличие которого устанавливается по величине акустического модуля относительно пороговых значений;
- степень анизотропии напряжений, которая характеризуется отношением акустических модулей в горизонтальной и вертикальной плоскостях массива;
- при слоистом строении массива влияние анизотропии свойств на состояние массива оценивается по величине параметров анизотропии;
- эффективное сечение выработок устанавливается по результатам прозвучивания.



Прогнозная карта распределения максимальных напряжений в плане (а) и зона влияния гор в условиях месторождения Хайдаркан (б).

#### Литература

1. Кутепов В.М. Результаты изучения естественных напряжений в массивах трещиноватых пород горных склонов // Вестник МГУ. – Сер. Геология. – 1966. – №6.
2. Ялымов Н.Г., Мамбетов Ш.А. и др. Результаты сравнительных измерений напряжений в массиве горных пород // Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: Наука, 1973.
3. Айтматов И.Т., Вдовин К.Д., Ялымов Н.Г. Экспериментальные исследования напряженного состояния массива горных пород на месторождениях Средней Азии // Изв. АН Кирг. ССР. – 1978. – №4. – С. 34–38.
4. Королев В.Г. Схема тектонического районирования Тянь-Шаня и смежных регионов // Изв. Кирг. фил. всесоюз. геогр. об-ва. – 1961. – Вып. 3. – С. 81–102.
5. Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
6. Садыбакасов И. Неотектоника высокой Азии. – М.: Наука, 1990.
7. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1986 – 314 с.
8. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах. – Фрунзе: Илим, 1988. – 187 с.
9. Сетров М.И. Принцип системности и его основные понятия // Проблемы методологии системного исследования. – М.: Мысль, 1970. – С. 28–41.
10. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. – М.: Недра, 1973.