МГГУ

МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

РЕДАКЦИОННЫЙ

СОВЕТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Председатель	
Л.А. ПУЧКОВ	*ректор МГГУ, чл.-корр. РАН*
Зам. председателя	
Л.Х. ГИТИС	*директор Издательства МГГУ*
Члены редсовета	
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ	*академик РАЕН*
А.П. ДМИТРИЕВ	*академик РАЕН*
Б.А. КАРТОЗИЯ	*академик РАЕН*
В.В. КУРЕХИН	*академик РАЕН*
М.В. КУРЛЕНЯ	*академик РАН*
В.И. ОСИПОВ	*академик РАН*
Э.М. СОКОЛОВ	*академик МАН ВШ*
К.Н. ТРУБЕЦКОЙ	*академик РАН*
В.В. ХРОНИН	*профессор*
В.А. ЧАНТУРИЯ	*академик РАН*
Е.И. ШЕМЯКИН	*академик РАН*

А.К. Порцевский

Выбор рациональной технологии добычи руд

Геомеханическая оценка состояния недр

♦

Использование подземного пространства

♦

Геоэкология

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
2003

УДК 622.273.21

Рецензенты:

• д-р техн. наук, проф. *И.А. Ковалев* (Московский государственный геологоразведочный университет),

• д-р техн. наук, проф. *Г.Г. Ломоносов* (Московский государственный горный университет),

• д-р техн. наук, проф. *Е.В. Петренко*

Порцевский А.К.

Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 767 с.: ил.

ISBN 5-7418-0249-4

Изложены основы технологии добычи руды в сложных горно-геологических условиях подземным способом. Рассмотрены различные стадии работ: вскрытие и подготовка месторождения, проведение выработок, технологические процессы, системы разработки, физико-химическая геотехнология. Приведена методология выбора рациональной технологии добычи руд на основе геомеханической оценки состояния недр. Описаны методы управления напряженно-деформированным состоянием массива и качеством рудной массы. Показаны варианты нетрадиционного сооружения и использования подземного пространства. Отражены проблемы геоэкологии и управления горным предприятием.

Для специалистов и студентов горного профиля.

Табл. 162, ил. 136, список лит. – 48 назв.

УДК 622.273.21

ISBN 5-7418-0249-4

© А.К. Порцевский, 2003

© Издательство МГГУ, 2003

© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

В XX в. значительно выросли объемы и темпы освоения недр. Использование горных технологий и технических средств все в большей степени влияет на социально-экономические и экологические условия жизни общества. В нашей стране недра – важнейшая часть национального природного богатства. Горное дело – область воздействия человека на литосферу. Важнейшей составной частью горного дела являются горные науки, изучающие фундаментальные и частные закономерности преобразования недр. Ученые и специалисты-горняки осознают, что в новом веке уже нельзя только бесконечно извлекать из недр матушки-Земли полезные ископаемые, оставляя огромных размеров котлованы, терриконы и отвалы пустых пород, ядовитые озера хвостохранилищ, брошенные подземные полости и провалы земной поверхности. Необходимо бережно брать из недр полезные ископаемые с помощью щадящих технологий, учитывающих последствия крупномасштабного и интенсивного изменения недр.

Предлагаемая книга является монографией, развивающей новую философию освоения и сохранения недр Земли. В начале XXI в. подземным способом отрабатывают магматогенно-метасоматические месторождения руд цветных, редких и радиоактивных металлов с применением следующих систем разработки: камерных с открытым очистным пространством, с обрушением руды и породы, с твердеющей закладкой камер и слоев. Месторождения этих руд являются сложноструктурными, генетически связанными с разломами. Автор рассматривает не только принципы определения геомеханических параметров систем разработки, но на основе опыта работы на урановых месторождениях и выполненных им исследований прогнозирует последствия извлечения руды и предлагает нестандартные решения по использованию подземного пространства, приводит методики расчета напряженно-деформированного состояния нарушенного массива, несущей способности подземных полостей и искусственных массивов, служащих опорными строительными конструкциями в блоках.

Автор монографии – доцент кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых Московского государственного открытого университета. Окончив в 1980 г. МИСИ по специальности «Строительство ядерных установок» и затем горный факультет Читинского политехнического института, он около семи лет работал в Приаргунском горно-химическом комбинате (г. Краснокаменск), где прошел хорошую производственную школу и приобрел опыт геомеханических исследований в сложных горно-геологических условиях. Работая с 1987 г. во ВНИПИпромтехнологии, подготовил кандидатскую диссертацию по урановым рудникам Забайкалья и Средней Азии, защитил ее в 1991 г. во МГРИ им. С. Орджоникидзе. А.К. Порцевский подготовил 15 учебных пособий и 7 прикладных компьютерных программ по различным курсам подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Монография А.К. Порцевского представляет несомненный интерес для специалистов, ученых и производственников, преподавателей, аспирантов, магистров и студентов горных вузов.

Первый вице-президент Академии горных наук,
профессор, доктор технических наук,
лауреат Государственной премии СССР,
заслуженный изобретатель России — Е.А. Котенко

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая монография написана по результатам многолетних научных изысканий автора – преподавателя горной технологии добычи руды, но представлена в таком виде, чтобы она была интересна не только небольшой группе специалистов-геомехаников, но и могла быть использована студентами и горными инженерами для решения собственных задач.

Согласно новым идеологии и методологии горных наук (по К.Н. Трубецкому, Н.П. Лаверову, Ю.Н. Малышеву) недра Земли не могут быть сведены лишь к тем полезным ископаемым, которые необходимы в настоящее время, недра – это ценность, в некоторых отношениях не имеющая стоимостного выражения. До настоящего времени технологии разработки месторождений не предусматривают дальнейшее, повторное использование преобразованных недр в новом качестве, например, подземного сооружения – завода, атомной электростанции, обогатительной фабрики, хранилища, могильника бытовых, химических и радиационных отходов, чана-перколятора для выщелачивания металла из забалансовых руд. Новая оценка технологий разработки месторождений, включающих в себя не только освоение, но и сохранение недр, потребует дополнительные знания о горном массиве, особое значение приобретает прогноз (не только в техническом, но и в социально-экономическом плане) последствий извлечения руды.

В настоящей работе уделено особое внимание рассмотрению элементов оценки технологий освоения месторождений в геомеханическом аспекте применительно к самым сложным в отработке и самым многочисленным месторождениям (согласно классификации А.Г. Милютина) -- магматогенно-метасоматической генетической группы, образовавшимся в

результате магматических и постмагматических процессов. В качестве примеров использования нового взгляда на технологию разработки месторождений приведены данные о преобразовании наиболее многочисленных систем разработки (по данным Д.Р. Каплунова) – с открытым очистным пространством, твердеющей закладкой и обрушением руды и пород.

Извлечение из недр цветных, благородных, редких, радиоактивных и рассеянных металлов по большей части осуществляется на месторождениях магматогенно-метасоматической генетической группы, например, на гидротермальных. Это наиболее многочисленная группа месторождений, отличающихся тем, что оруденение формировалось в зонах разгрузки при резком падении температуры и давления, при движении гидротермальных растворов по зонам трещиноватости и диффузии в породах. Поэтому добыча руды производится в весьма сложных горно-геологических условиях, особенно на больших глубинах.

Тяжелые условия формирования месторождений с зонами разгрузки и избыточного горного давления, различно ориентированными трещинами и разломами, часто «незалеченными», приводят к необходимости заблаговременно оценить степень нарушенности массива, выбрать наиболее эффективную систему разработки (а может быть, наоборот, изменить характеристики массива, для того чтобы применить в разных блоках унифицированную, наилучшую систему разработки), разработать мероприятия по поддержанию очистного пространства, погашению пустот, локализации сдвижений, снижению опорного горного давления, предусмотреть вторичное использование преобразованных недр.

Рациональное использование ресурсов недр невозможно без взаимоувязки и выбора различных технологических мероприятий. Обоснование же этих мероприятий необходимо производить на базе геомеханических проработок **последствий извлечения руд**, а принятие решений должно основываться на информационных данных, полученных с использованием компьютерных технологий.

В этой связи совершенствование технологии разработки месторождений за счет заблаговременной оценки возникающего при этом опорного давления и сдвижений пород, использования в полной мере несущей способности горного и закладочного массива, обоснования необходимых и достаточных объемов погашения пустот, повторного использования подработанного массива является важной народно-хозяйственной задачей.

Примирение возникающих при этом **противоречий** между желанием снизить расходы на добычу руды, освоение месторождений и необходимостью сохранения, повторного использования недр уже в новом качестве составляет актуальную научную проблему оценки технологий освоения и сохранения недр на основе заблаговременного анализа последствий техногенного преобразования недр.

Суть предложений по выбору параметров технологии добычи руды заключается в следующем. Оценкой напряжений, деформаций, сдвижений, несущей способности горного и закладочного массива выбираются принципиальные технологические решения: а) изменение параметров днища, режима донного и торцевого выпуска для систем с обрушением и систем с открытым очистным пространством ведет к улучшению показателей извлечения; б) создание закладочных массивов всегда разнопрочными позволяет использовать в полной мере их несущую способность; в) прогноз устойчивости полостей, сдвижения пород, опорного горного давления обеспечивает выбор оптимальных размеров выработок, а также рациональную комбинацию объемов погашения их закладкой и изоляции пустот; г) сооружение пространственных несущих конструкций обеспечит не только унификацию технологических схем добычи, но и преобразование недр в новый источник георесурсов (подземные заводы, атомные электростанции, хранилища, могильники и т.п.); д) обоснование объемов добычи разносортной руды по блокам и забоям приводит к стабилизации качества выдаваемой рудной массы; е) щадящие геотехнологические методы извлечения

полезных ископаемых можно применять практически в любых условиях.

Основные положения работы базируются на результатах теоретических и натурных исследований, проведенных автором с 1983 по 1992 гг. на рудниках Приаргунского (Забайкалье) и Целинного (Казахстан) горно-химических комбинатов, на результатах теоретических изысканий с 1992 по 2001 гг. – на кафедре Разработки цветных, редких и радиоактивных металлов Московской государственной геологоразведочной академии и с 2001 г. – на кафедре Разработки месторождений полезных ископаемых Московского государственного открытого университета.

Проф. В.С. Хохряков утверждал, что лишь **информационные технологии**, основанные на применении ЭВМ, способны обеспечить необходимый темп технического прогресса за счет разрешения следующих противоречий: а) между сложностью задач и требованием их все более быстрого и оптимального решения; б) между высокой трудоемкостью, гигантскими объемами ручных работ и все меньшим количеством людей, желающих выполнять эти работы с высоким качеством; в) между высокой концентрацией производства, большой стоимостью строительства и необходимостью выдавать в короткие сроки оптимальные и высокоточные решения в проектах и планах.

Ряд исследователей социальных трагедий и природных катаклизмов видит прямую связь этих катастроф с проблемами геоэкологии, проблемами практической охраны окружающей среды в интересах ныне живущих и последующих поколений людей. Автор считает, что при выборе методов воздействия человека на горный массив необходимо главное внимание уделять вопросам устойчивости выработок и массива в целом, вопросам управления эффективностью горных работ, прогнозу последствий добычи на основе "**экологизации**" и применения информационных технологий в учебном процессе, в проектировании и на производстве – для облегчения принятия управленческих решений.

Горные предприятия с точки зрения изучения, проектирования и управления относятся, как геосистемы, к высшей категории сложности, обладающие комплексом существенных связей с внешним миром и внутри предприятия. Они представляют собой многофакторные природно-технологические объекты, развивающиеся в пространстве в течение длительного времени (более 20 лет) и характеризующиеся большими объемами различного вида информации, обработку которой необходимо поручать компьютеру.

Современная практика исходит из необходимости предупреждения негативных экологических последствий, устранения и компенсации этих последствий и снижениях их опасности, отсюда, среди прочих, приоритетными научными направлениями являются:

- изучение комплексного освоения и сохранения недр как фактора экологической опасности, возможностей использования георесурсов в новом качестве;
- создание научных основ контролинга и мониторинга изменений в окружающей природной среде под действием горного производства.

Многие задачи решаются на основе использования предлагаемой автором информационной системы по выбору технологии добычи. Компьютерные технологии, входящие в информационную систему, обеспечивают новый качественный уровень в сборе, накоплении, обработке информации о различного рода горных и природных объектах при проектировании и оперативном управлении сложных природно-технологических систем.

Автор считает, что при выборе методов воздействия человека на горный массив необходимо главное внимание уделять вопросам щадящей, но эффективной добычи руды, а также устойчивости горного массива, прогнозу последствий ведения горных работ. Именно поэтому особое внимание в работе уделено вопросам естественного поддержания массива, обрушения и сдвижения пород, выпуска руды под обрушенными породами, поддержания массива крепью и заклад-

кой, укрепления горного массива, щадящим методам отбойки и выщелачивания руды.

В будущем, когда все минеральное сырье будет из-под земли добываться физико-химическими геотехнологическими методами, когда горная промышленность перейдет на закрытую схему производства, когда все отходы снова пойдут в дело, а пустоты будут использоваться в новом качестве, даже тогда принятие решений необходимо будет производить на основе геомеханической оценки состояния недр.

Автор выражает глубокую благодарность своему Учителю проф., д-ру техн. наук, акад. АГН Е.А. Котенко за многолетнюю помощь, поддержку и ценные советы, своим коллегам по кафедре «Разработки месторождений цветных, редких и радиоактивных металлов» МГГА и по кафедре «Разработки месторождений полезных ископаемых» Московского государственного открытого университета – профессорам И.А. Ковалеву, Ю.А. Боровкову, Е.Н. Холобаеву, В.Ф. Рогизному, Ю.И. Анистратову, Ж.В. Бунину, В.И. Емельянову, Г.А. Каткову, В.Ф. Носкову, Ю.В. Михайлову, А.Е. Кусову, Е.М. Пахомову, Е.И. Комарову за бесценную помощь и доброжелательное отношение к автору.

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В РАБОТЕ

H – глубина разработки, м;

H^1 – глубина работ от границы коренных пород с наносами или расстояние по вертикали от кровли полости до охраняемого объекта, м;

A и B – длина и ширина обнажения соответственно, м;

L – пролет выработки, м;

h, $h_н$, $h_в$ – мощность слоя (высота выработки), нижней и верхней пачки твердеющей закладки соответственно, м;

S – площадь обнажения, м^2;

V – объем выработки, м^3;

c – высота зоны смятия потолочины, м;

υ – прогиб кровли выработки, м;

Δ – смещение, м;

α – угол падения залежи, бортов выработки, градус;

φ – угол внутреннего трения пород, закладки, градус;

ψ – угол падения плоскости скольжения, равен ($45^\circ + \varphi/2$), градус;

d_1, d_2 – размер блока пород массива в горизонтальной и в вертикальной плоскостях соответственно, м;

$B_з$, $B_п$ – коэффициенты компрессии закладки и пород соответственно, отн. ед.;

$\chi_з$, $\chi_п$ – коэффициенты сжимаемости закладки и пород соответственно, отн. ед.;

σ – напряжения в горном и закладочном массивах, МПа;

$\sigma_{сж}$, $\sigma_р$, $\sigma_{ср}$ – предел прочности на одноосное сжатие, растяжение и срез в образце пород и закладки соответственно, МПа;

$E_{ст}$, $E_д$ – статический и динамический модуль деформации пород и закладки, на упругой и пластической стадиях деформирования соответственно, МПа;

γ – средний объемный вес пород или закладки, МН/м^3;

q – средняя величина удельной распределенной нагрузки, МПа;

C – сцепление, МПа;

ω – давление пород, закладки из свода обрушения, МН/м^2;

t – продолжительность обнажения, мес., год;

ν – коэффициент Пуассона, отн. ед.;

η – коэффициент бокового отпора, отн. ед.;

λ – коэффициент структурного ослабления закладки, отн. ед.;

$K_з$, $n_{зап}$ – коэффициент запаса, отн. ед.;

$K_п$ – коэффициент пригрузки, отн. ед.;

$K_у$ – коэффициент устойчивости, отн. ед.;

$K_о$ – коэффициент ослабления породного массива, отн. ед.;

$K_к$ – коэффициент концентрации напряжения, отн. ед.;

$K_р$ – коэффициент разрыхления отбитых или обрушившихся пород, отн. ед.

1 ГЛАВА ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НЕДР НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

§ 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НЕДР

Геомеханическая оценка состояния недр является основой для принятия коренных решений по технологии добычи руды, а охрана окружающей среды при подземной разработке месторождений (по Е.В. Беляеву[1]) – это комплекс горных мероприятий: а) по повышению полноты извлечения полезных ископаемых из недр; б) по уменьшению уровня вредных геомеханических преобразований толщи горных пород и земной поверхности; в) по предотвращению нежелательных гидрологических и химических преобразований и засорения земли, воды и воздуха отходами производства. Повышение полноты извлечения руды из недр достигается за счет совершенствования систем разработки и снижения эксплуатационных, общешахтных потерь руды при применении не только бесцеликовых способов охраны выработок, стволов, зданий, сооружений и природных объектов, но и принятия грамотных решений по выбору геометрических размеров выработок, технологии добычи, режима выпуска, закладки пустот. Последствия добычи руды можно предусмотреть лишь при знании: а) характера геомеханических преобразований

[1] Беляев Е.В. Теория подрабатываемого массива горных пород. – М.: Наука, 1987. – 176 с.

толщи горных пород и земной поверхности, обусловленных добычей руды; б) степени влияния этих преобразований на охраняемые объекты; в) допустимого уровня влияния горных выработок на объекты.

Геомеханические преобразования горного массива являются важным физическим процессом горного производства. Допустимый уровень влияния добычи на охраняемые объекты определяется характером, назначением, устройством, расположением, природными и социальными условиями объектов охраны. Таким образом, проблема охраны окружающей среды и геомеханической оценки состояния недр находится на стыке ряда установившихся научных направлений: горного, маркшейдерского и строительного дела, геологии и физики, социологии и экономики.

Возможность прогнозирования воздействия горных работ на окружающую среду создает научную основу для проектирования мер ее охраны, управления добычей руды. Меры охраны могут быть горными, строительными, гидротехническими, агротехническими и другими в зависимости от условий разработки месторождений, типа охраняемого объекта, его социальной и хозяйственной ценности и ряда других факторов.

Создание и обоснование научных основ управления подземной добычей руды с учетом и на базе геомеханической оценки состояния недр, последствий извлечения руды является основной целью настоящего труда.

Полнота извлечения руды из недр – один из главных показателей технологии разработки. Всегда стремились больше извлечь и меньше потерять полезных ископаемых. Около 4 % балансовых запасов остается под охраняемыми объектами на земной поверхности, хотя многие годы изучаются способы отработки месторождений в этих условиях. В СССР вопросы подработки и защиты шахтных стволов с 1956 г. изучались А.М. Козелом и А.Г. Акимовым, доказавшими возможность и целесообразность развития очистных работ на шахтах без оставления околоствольных целиков. Однако внедрение этих рекомендаций сдерживается трудностями осуществления

горных и строительных мероприятий по охране подрабатываемых стволов, отсутствием обоснованных методов прогноза геомеханического преобразования горного массива и технологических схем очистных и подготовительных работ в околоствольных целиках.

Известны работы С.Г. Авершина, Д.А. Казаковского, М.В. Короткова, А.Н. Медянцева, В.Н. Земисева, А.Г. Акимова, Г. Кратча, М.А. Иофиса, Е.В. Беляева и др., выполненные за последние 30 лет в области геомеханики и маркшейдерского дела, в результате которых созданы правила охраны подрабатываемых объектов для угольных и рудных месторождений. Это способствовало снижению общешахтных потерь угля и руды в предохранительных целиках, повысило сохранность зданий и сооружений. Однако резервы повышения полноты извлечения руды под застроенной территорией и природными объектами еще не исчерпаны.

Для охраны земной поверхности разработано множество способов прогноза ее сдвижений и деформаций. Классификация методов расчета, предложенных в последние десятилетия, приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Классификация методов прогноза геомеханических преобразований подрабатываемых территорий[2]

Основа метода	Модель подрабатываемого массива. Название метода (регион)	Автор, время публикации
Механика сплошной среды, в которой функции перемещений и деформаций не претерпевают разрыва во времени и в пространстве	Упругая среда	Авершин С.Г., 1960 г.; Белри Д., 1961 г.; Брейнер Г., 1959 г.; Черняев В.И., 1978 г.
	Пластичная среда (СССР)	Авершин С. Г., 1947–1954 гг.

[2] Беляев Е.В. Геомеханические преобразования и охрана подрабатываемых территорий. – М.: Наука, 1988. – 191 с.

Основа метода	Модель подрабатываемого массива. Название метода (регион)	Автор, время публикации
Механика сплошной среды, в которой функции перемещений и деформаций не претерпевают разрыва во времени и в пространстве	Малосвязная упругая среда (СССР)	Муллер Р.А., 1958 г.
	Упругоползучая среда (СССР)	Бесков М.И., Ведяшкин А.С., 1973 г.
	Сыпучая среда (СССР, ПНР)	Протодьяконов М., 1930 г.; Кнотте С., 1970 г.
	Упруговязкая среда	Край В., 1973 г.
	Трансверсально-изотропная вязкоупругая среда (Англия)	Маршалл Г., 1969 г.
Механика дискретной среды, состоящей из породных блоков, слоев, элементов с заданными связями между собой	Пачка тонких горизонтальных слоев, деформирующаяся без расслоения и сдвига на контактах (СССР)	Земесев В.Н., 1973 г.
	Метод конечных элементов (ФРГ, ВНР)	Кратч Г., 1970 г.; Мюллер В., 1973 г.; Эберхард А., 1977 г.; Гаяри Г., 1973 г.
	Комбинация взаимодействующих элементов сыпучей среды, упругого тела и подвергающегося компрессионному сжатию пористого слоя разрушенной кровли или закладки	Беляев Е.В., 1980 т.
Физико-математическая	Механизм сдвижения в толще горного массива, моделирующего распространение продольных волн как чередование зон уплотнения и разуплотнения пород	Лауш Г., 1974 г.

Основа метода	Модель подрабатываемого массива. Название метода (регион)	Автор, время публикации
Аналитико-эмпирическая с использованием теории вероятности и данных натурных наблюдений	Статистическая (стохастическая) рыхлая, несвязная, слоистая среда, деформирующаяся, подчиняющаяся законам диффузии газов и теплопроводности	Литвинишин И., 1957 г.; Брайнер Г., 1961 г.; Бухгейм В., 1970 г.
	Упрощенная методика расчета для свиты пластов при отсутствии календарных планов горных выработок (Донбасс, Караганда)	Медянцев А.Н., 1958 г.; Муллер Р.А.. 1960 г.
	Расчет вероятных сдвижений пород	Земесев В.Н., 1978 г.
	Расчет сдвижений с использованием функции вероятности Гаусса	Костерин М.А., 1972 г.
Аналитико-эмпирическая с использованием функций влияния элементарных площадок очистных выработок на земную поверхность и данных натурных наблюдений	Аналитический	Мякенький В.Н., 1975 г.; Бейер Ф., 1972 г.; Шадрин А.Г., 1973 г.; Шпетман И., 1962 г.; Ершов Н.М., 1958 г.
	Расчет с помощью интеграционных сеток на угольных месторождениях ФРГ и Англии	Кайнгорст Г., Вальс Р., Шлейер О., Перц Ф., Бейер Ф., Занн Б., Флешентрегер Г., Шульте Г., Нейберт К., Марр И., 1930–1980 гг.
	Расчет с помощью электронно-счетных машин (ФРГ, ЧССР, Япония)	Эрхардт В., Зауер А., Кастенбейн В., Хавлик Ф., Храдиль И., Хиромацу И., 1960–1970 гг.
	Расчет с помощью интеграционных сеток или типовых кривых для условий Силезии	Кохманьский Т., Кнотте С., Будрык В., 1950–1960 гг.

Основа метода	Модель подрабатываемого массива. Название метода (регион)	Автор, время публикации
Аналитико-эмпирическая с использованием экспериментально установленных функций влияния на земную поверхность глубины, мощности, угла падения пласта и состава толщи	Расчет сдвижений для условий:	
	Донбасса	Медянцев А.Н. с сотр., 1950–1980 гг.
	Львовско-Волынского бассейна	Иофис М.А., 1960–1970 гг.
	Карагандинского бассейна	Мурашев А.Н., Канлыбаева Ж.Ю., 1950–1970 гг.
	Западного Донбасса	Лисица И.Г. с сотр., 1950–1987 гг.
	Кизеловского и Челябинского бассейнов	Петухов И.А. с сотр., 1950–1975 гг.
	Кузбасса	Костенич В.С., 1950–1970 гг.
	Неизученных месторождений	Акимов А.Г., Казаковский Д.А., 1950–1980 гг.
	Подмосковного бассейна	Кацнельсон Н.Н., 1950–1955 гг.
	Месторождений Грузии	Гелашвили Г.М.,1950–1960 гг.
Эмпирическая с использованием статистических зависимостей между параметрами подработки, перемещениями и деформациями земной поверхности	Метод типовых кривых	Колбенков С.П. с сотр., 1958 г.
	Метод номограмм	Иофис М.А., 1960–1970 гг.
	Метод расчета в функции от кратности подработки	Коротков М.В., Гертнер П.Ф. с сотр., 1950 г.
	Расчет с помощью интеграционных сеток для условий Рура	Корфман В., 1960–1970 гг.
	На основе моделирования	Мартош Ф., 1969 г.
	Расчет с помощью ЭВМ	Нидергофер Г., 1968 г.

Например, методы расчета сдвижений земной поверхности на базе механики сплошной среды, как правило, даны в общем виде и не содержат конечных решений, приемлемых для практики, модель подрабатываемого массива чересчур идеализирована, ведь натурными наблюдениями и на моделях надежно установлено, что в процессе геомеханических преобразований подрабатываемый горный массив разрушается, теряет сплошность, функции перемещений массива претерпевают разрывы во времени и пространстве. Породы в разных зонах подрабатываемого массива находятся в различных состояниях, закономерности их преобразования неодинаковые.

Для описания геомеханических преобразований массива в последнее время успешно используются дискретные модели среды, позволяющие учесть анизотропию, зональность, импульсивный характер перемещений слоев. Но при этом возникают большие затруднения в раскрытии взаимодействия отдельных элементов, выборе связей между ними и решении системы уравнений состояния, число которых соизмеримо с числом элементов. Метод конечных элементов с помощью ЭВМ дает решения простейших плоских задач сдвижения горных пород (без учета фактора времени, угла падения пласта). В этом отношении рассматриваемый в настоящей работе метод граничных элементов гораздо предпочтительнее.

Чисто эмпирические методы трудно использовать в условиях, отличных от типовых, – при изменении параметров очистных выработок, системы разработки, порядка отработки пластов, способа управления кровлей и других горно-геологических условий.

Наибольшее распространение на практике нашли аналитико-эмпирические методы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности, представляющие собой сочетание теоретических исследований с обобщенными экспериментальными данными. Они достаточно надежно описывают геомеханические преобразования массива на месторождениях угля и руды, где проводятся наблюдения массива, но не раскрывают физическую сущность процессов преобразования среды.

Таким образом, необходимо продолжать изучение геомеханических преобразований толщи горных пород под влиянием подземной разработки угля и руды, привлекая современные средства вычислительной техники, выбирая новые физические модели среды, учитывая более полно физико-механические, пространственные и временные факторы. Авторская аналитико-эмпирическая методика прогноза сдвижений пород с использованием ЭВМ приведена ниже в настоящей работе.

Изучение влияния геомеханических преобразований толщи горных пород на объекты охраны и установление допустимого уровня преобразования проходили особенно интенсивно в последние 30 лет в СССР, ПНР, ФРГ, Англии и других странах. Это было вызвано массовой застройкой территорий над угольными и рудными месторождениями. В результате были установлены зависимости между перемещениями и деформациями подрабатываемого грунтового основания и степенью повреждения или характером напряженно-деформированного состояния несущих конструкций наиболее распространенных типов сооружений: поверхностных зданий, башенных сооружений, трубопроводов, железных дорог, резервуаров, промышленных печей и других объектов горной охраны (см. Приложения).

Допустимые уровни воздействия горных работ на земную поверхность устанавливались либо на основании массовых наблюдений за подрабатываемыми сооружениями и природными объектами, либо путем статических расчетов охраняемого сооружения на прочность и устойчивость как функции от деформаций основания. Эмпирические допуски выражаются: а) предельными перемещениями и деформациями земной поверхности; б) допустимыми объемами и площадью подработки; в) допустимыми деформациями конкретных сооружений в зависимости от их конструктивных, геометрических и технологических особенностей.

Недостаток эмпирических допусков заключается в том, что они справедливы лишь в конкретных грунтовых, горно-

геологических условиях и лишь для тех типов сооружений и объектов, которые были охвачены натурными наблюдениями.

Допуски же, полученные расчетом, более полно раскрывают характер взаимодействия подрабатываемых сооружений с деформирующейся земной поверхностью, но получить их очень сложно вследствие влияния многих факторов. Однако для ряда сооружений (трубопроводов, зданий, башен и некоторых других типов сооружений) по их заданной прочности и устойчивости были найдены предельные деформации грунтового основания.

Влияние горных работ на гидросферу изучалось, главным образом, с точки зрения защиты от прорыва воды в горные выработки[3] и в меньшей мере – в целях охраны природной среды. Практически не изучено влияние геомеханических преобразований горного массива на леса, сельскохозяйственные угодья, почву, подземные воды и другие элементы геологической среды. Лишь Л.А. Потемкин впервые описал комплекс проблем[4] охраны недр и окружающей природы, а в работе Е.В. Беляева[5] обобщен опыт охраны природы в наиболее типичных регионах – Донбассе и Силезии. Относящиеся к различным разделам науки и техники вопросы охраны недр объединены общностью цели и единым подходом к решению задач.

На этой основе должны быть разработаны научные основы управления добычей руды с учетом факторов охраны природы, расчет параметров выработок с учетом горного давления, сдвижения, закладки, предложены методы конструирования систем разработок с опорными конструкциями, обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов.

---

[3] Безопасная выемка угля под водными объектами: Сборник / Под ред. Б.Я. Гвирцмана. – М.: Недра, 1977. – 172 с.

[4] Потемкин Л.А. Охрана недр. – М.: Недра, 1975. – 80 с.

[5] Беляев Е.В., Горбачев Д.Т., Ельчанинов Е.А. Основные направления малоотходной технологии на угольных шахтах. – М.: ЦП НТГО, 1986. – 67 с.

Охрана среды является родом инженерной деятельности, она планируется, рассчитывается, осуществляется, контролируется и оценивается как любой другой технический проект, при котором будет нанесен наименьший ущерб природе при сохранении приемлемого уровня технико-экономических показателей добычи.

Основная задача охраны окружающей среды от вредных геомеханических преобразований горного массива заключается в расчете параметров подземных выработок по условию сохранения допустимого уровня их воздействия на подрабатываемые объекты. Аналитически это условие имеет вид

$$\Delta \leq \Delta_{п},$$

где в левой части неравенства даны ожидаемые перемещения или деформации, а в правой – их предельно допустимые значения на охраняемом участке горного массива.

Горный аспект задач охраны недр (в общем виде) заключается в следующем: а) разработать и обосновать метод прогноза геомеханических преобразований породного массива и земной поверхности в районе шахты; б) установить допустимые перемещения и деформации породного массива и земной поверхности в окрестности капитальных горных выработок, сооружений, сельскохозяйственных угодий и водных объектов; в) оценить экономический эффект таких природоохранных мероприятий за счет повышения полноты извлечения угля и руды из недр, сохранения участков сельскохозяйственных угодий, защиты водных объектов от загрязнения шахтными водами; г) оценить степень геомеханических преобразований породного массива и земной поверхности (перемещения, изменение физико-механических свойств); д) рассчитать параметры горных выработок по фактору охраны среды; е) рекультивировать нарушенные участки земли, восстановить нормальную эксплуатацию нарушенных объектов; ж) предложить щадящие геотехнологические методы добычи руды из недр (например, подземное выщелачивание).

Геомеханические задачи решаются аналитическими методами механики горного массива с экспериментальной про-

веркой результатов в производственных (наблюдательные маркшейдерские станции на рудниках) и лабораторных условиях на моделях из эквивалентных материалов.

Технологические задачи решаются методами системного анализа условий подземной разработки рудных месторождений и научного обобщения производственного опыта с последующей проверкой результатов в промышленных условиях.

Наблюдательная маркшейдерская станция представляет собой систему профильных линий, в створе которых через 15–20 м заложены грунтовые реперы. Концы профильных линий выносились за пределы возможной границы мульды оседания и опираются на геодезические пункты, расположенные вне зоны влияния горных выработок. Линии располагаются, как правило, в главных сечениях ожидаемой мульды вкрест и по простиранию пластов и рудных тел. Наблюдения состоят в периодических нивелировках и измерениях расстояний между реперами, выполняемых до, в период и после подработки поверхности. Точность измерения наклонов обычно $\approx 1{,}4 \cdot 10^{-4}$, кривизны – $0{,}15 \cdot 10^{-4}$ м$^{-1}$, горизонтальных деформаций – $1{,}4 \cdot 10^{-4}$. Эти цифры легко получить по правилам теории ошибок, считая точность отсчета по нивелирной рейке и по рулетке, равной 1 мм. Наблюдения проводятся с интервалом от нескольких дней до одного года.

Другим эффективным методом исследований является моделирование геомеханических процессов в подрабатываемом массиве. Метод моделирования позволяет воспроизвести и измерить деформации земной поверхности, сравнение которых (учитывая масштаб моделирования) с результатами вычислений дает возможность объективно оценить принятый способ расчета. Метод эквивалентных материалов для моделирования процессов сдвижения горных пород разработан еще проф. Г.Н. Кузнецовым[6]. Экспериментальные методы изучения подрабатываемой поверхности, в общем виде, долж-

---

[6] Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев и др. – Л.: Недра, 1968. – 250 с.

ны включать геодезические наблюдения перемещений, динамометрические измерения сопротивления грунтов и пород на сжатие и сдвиг; инженерно-геологические и горно-геологические обследования подрабатываемых территорий. Аналитические методы изучения подрабатываемых грунтов и их взаимодействия с сооружениями базируются на теории упругости, пластичности и предельных состояниях обнажений в сплошной среде.

§ 2. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К месторождениям магматогенно-метасоматической генетической группы, например, гидротермальным[7] (табл. 1.2), относится большинство месторождений цветных, благородных, редких, радиоактивных и рассеянных металлов, разнообразные виды неметаллического минерального сырья (тальк, магнезит, исландский шпат, флюорит, барит, кварц и др.). Это наиболее многочисленная группа месторождений. Некоторые химические элементы (ртуть Hg, медь Cu, свинец Pb, цинк Zn, молибден Mo, кобальт Co, уран U, мышьяк As, сурьма Sb) имеют исключительно гидротермальный генезис. Другие химические элементы добываются на гидротермальных месторождениях совместно с примесями (элементами-спутниками) – это вольфрам W, олово Sn, висмут Bi, золото Au, серебро Ag, ниобий Nb, тантал Ta, селен Se, стронций Sr, кадмий Cd, рений Re, галлий Ga, германий Ge, барий Ba, титан Ti, ванадий V, теллур Te, платина Pt, палладий Pd. Лишь для добычи железа Fe, магния Mg, бериллия Bi, алюминия Al, никеля Ni и редких земель гидротермальные месторождения носят второстепенный характер.

Эти месторождения возникли из горячих, термальных, содержащих соединения металлов, газово-водных растворов

---

[7] Верчеба А.А., Железняк Н.Н. Основы теории гидротермального рудообразования. – М.: изд. МГГА, 2000. – 29 с.

(флюидов). Флюиды проникали в горные породы зоны рудоотложения из мантийных очагов и очагов, расположенных в земной коре. Рудообразующая гидротермальная система имеет вертикальный размах до 10 км (корневая зона, стволовая и зона разгрузки). В зоне разгрузки формируется оруденение при резком падении температуры и давления (до 100–200° и до 400–600 атм (1 атм = 10^5 Па) – для различных минералов). Движение гидротермальных растворов осуществляется по разломам и зонам трещиноватости и диффузии в породах. В зонах разломов и трещиноватости образуется относительный вакуум, засасывающий растворы; выжимание и всасывание растворов представляют собой две стороны одного явления – создания разности давлений, определяющих причины и направление движение растворов. Отложение минералов может происходить двумя способами: а) в пустотах раздробленной породы и в порах, т.е. в открытых полостях; б) метасоматический, диффузный или фильтрационный, путь замещения минералов пород новообразованными минералами (рис. 1.1). При этом гидротермальные изменения по минеральному составу вмещающих пород бывают простые и сложные. Простые – окварцевание, хлоритизация, серицитизация, доломитизация и пиритизация вмещающих пород и трещин. Сложные изменения в породах представлены альбититами, грейзенами, березитами, пропилитами и аргиллизитами (рис. 1.2). Измененные породы окружают рудные тела со всех сторон, образуя «чехол» вокруг них. Лишь окварцевание повышает устойчивость и крепость рудовмещающих пород, остальные изменения понижают устойчивость и крепость.

Поскольку все рудные месторождения так или иначе формировались водными растворами, важно увидеть взаимосвязь этих вод с типами месторождений (табл. 1.3). Причинами рудообразования могут быть физические и химические факторы. Типичные физические причины – изменения температуры и давления, гравитационная дифференциация вещества. Химические причины – вещественные взаимодействия, происходящие в изобарно-изотермических условиях.

Таблица 1.2

Генетическая классификация рудообразующих процессов и связанных с ними месторождений полезных ископаемых [А.Г. Милютин, 1989]

Группа, подгруппа процессов	Рудообразующие процессы	Генетическая группа	Генетический тип месторождений	
			Класс	Подкласс
Магматическая	Интрузивный магматизм: ликвационная дифференциация; эксплозии кимберлитовой магмы; кристаллизационная дифференциация; последовательное формирование ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов	Магматогенно-метасоматическая	Магматический	Ликвационный Эксплозивный Кристаллизационный
			Карбонатитовый	
	Кристаллизация остаточного магматического расплава Перекристаллизация простых пегматитов Метасоматоз перекристаллизованных пегматитов		Пегматитовый	Простых пегматитов (больших глубин) Перекристаллизационных пегматитов (средних глубин) Метасоматически замещенных пегматитов (малых глубин)
Постмагматическая	Контактовый метасоматоз		Скарновый	Карбонатных скарнов
	Автометасоматоз			Силикатных скарнов
	Натриевый метасоматоз		Альбитит-грейзеновый	Альбититовый
	Калиевый метасоматоз			Грейзеновый

Продолжение табл. 1.2

Группа, подгруппа процессов		Рудообразующие процессы	Генетическая группа	Генетический тип месторождений	
				Класс	Подкласс
Постмагматическая		Насыщение и разгрузка гидротермальных минерализованных растворов	Магматогенно-метасоматическая	Гидротермальный	Плутогенный Субвулканический (порфировый)
		Поствулканическая эманация, эксгаляции и гидротермы			Вулканогенный (эксгаляционный)
Эндогенно-экзогенная		Осаждение рудных компонентов из гидротермальных и коллоидных растворов	Эндогенно-экзогенная	Вулканогенно-осадочный	
		Гидротермальные процессы при катагенном преобразовании осадочных формаций		Гидротермально-осадочный (стратиформный)	Катагенно-гидротермальный
		Разгрузка рециклинговых, коровых, инфильтрационных гидротерм и последующие рудогенные преобразования			Эксгаляционно-осадочный (скарноидный)
Экзогенная	Выветривания	Химическое и физическое выветривание	Экзогенная	Выветривания	Остаточный
		Выщелачивание и переотложение грунтовыми водами рудообразующих компонентов			Инфильтрационный

Окончание табл. 1.2

Группа, подгруппа процессов		Рудообразующие процессы	Генетическая группа	Генетический тип месторождений	
				Класс	Подкласс
Экзогенная	Седиментационная	Физическое выветривание	Экзогенная	Осадочный	Обломочный (механические осадки) и россыпей:
		Приповерхностное разрушение продуктивных тел, гравитационное смещение материала			• элювиально-делювиальный
		Речная эрозия, перенос и накопление твердого стока			• аллювиальный
		Механическая дифференциация обломочного материала в прибрежно-морской полосе			• литоральный
		Перенос и отложение морен			• ледниковый
		Перемещение песков ветром			• эоловый
		Кристаллизация солей из растворов морской воды, развитие соляной тектоники			Гидрогенный (хемогенный)
		Осадконакопление и преобразование органической массы			Биогенный
Метаморфическая		Синхронный метаморфизм руд и вмещающих пород	Метаморфогенная	Метаморфизованный	
		Метаморфизм с первичным рудообразованием		Метаморфический	

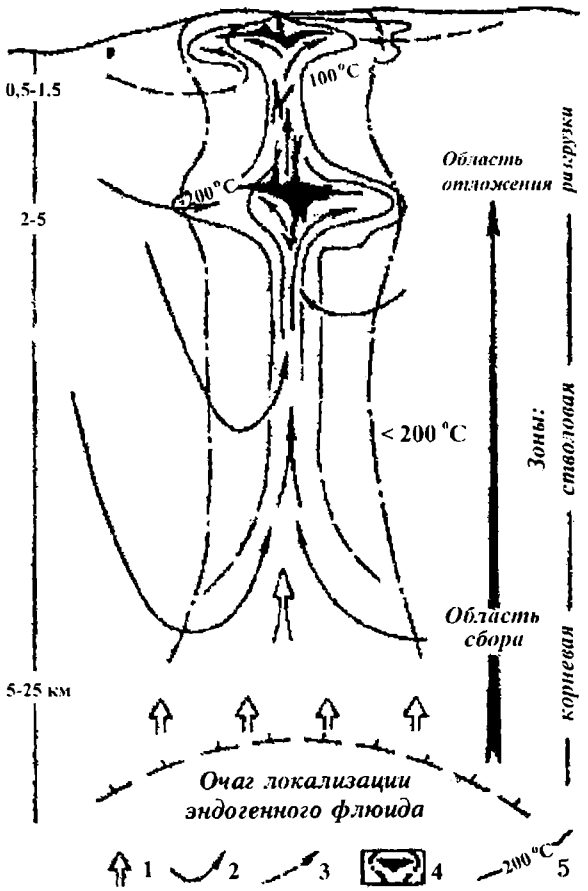

Рис. 1.1. Модель образования гидротермального месторождения:
1 – направление потока минерализованного флюида; *2* – направление потока инфильтрационных вод; *3* – направление циркуляции подземных вод; *4* – руда; *5* – изотермы рудообразующей гидротермальной системы

Вода, водные растворы, нагнетаемые под давлением в трещины и разломы земной коры, образуют смазку, благодаря которой эти в сухом состоянии намертво сжатые трещины превращаются в «зеркала скольжения» между мелкими, средними и огромными блоками земной коры. Благодаря этой смазке возможны многочисленные подвижки в массиве, а с другой стороны, не будь этой постоянной смазки, неук-

лонное накопление напряжений рано или поздно приводило бы к грандиозным сухим разрушениям земной коры. Напряжения, вызывающие горный удар, копятся долго, иногда, чтобы вызвать его раньше, достаточно просто подкачать воды в геологическую структуру. Возрастает поровое давление, «эффект смазки» уменьшит монолитность массива, и происходит удар, микроземлетрясение – «эффект возбужденной тектоники» (определение сейсмологов) (рис. 1.3).

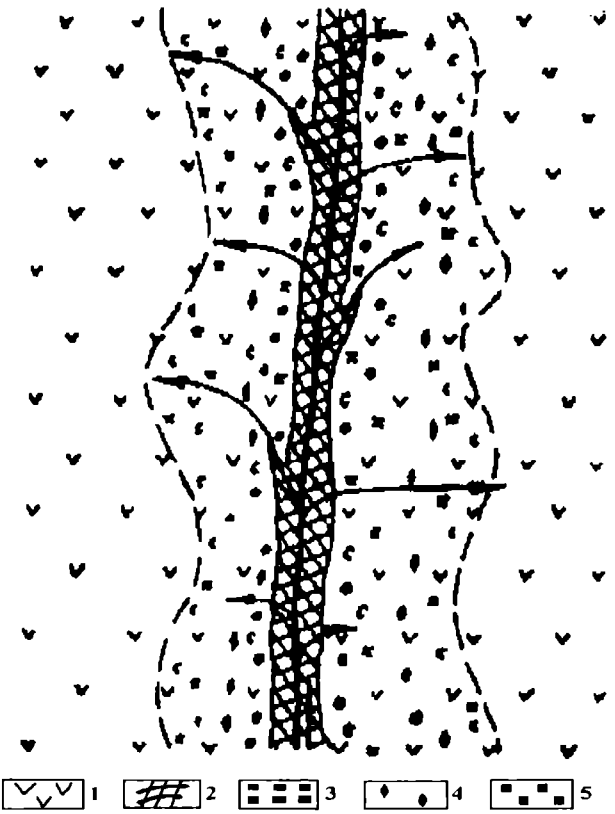

Рис. 1.2. Диффузное метасоматическое изменение рудовмещающих пород:

1 – рудовмещающие породы; *2* – рудоносная жила и направление диффузии флюидов; *3* – зона хлоритизации с пиритом; *4* – зона окварцевания; *5* – зона серицитизации и хлоритизации

Таблица 1.3

Взаимосвязь основных генетических типов рудообразующих растворов и рудных месторождений[8]

Растворы, участвующие в рудообразовании	Гидросфера	Поверхностная	Подземная			
	Генетические серии	Экзогенная			Эндогенная	
	Гидравлические системы	Открытые безнапорные	Закрытые элизионные	Открытые инфильтрационные	Закрытые термоэлизионные	Закрытые магматические
	Генетические типы вод	Поверхностные иловые	Захороненные (седиментационные)	Инфильтрационные	Возрожденные (метаморфогенные)	Перворожденные (ювенильные)
Месторождения	Генетические серии	Экзогенная			Эндогенная	
	Отношение оруденения к вмещающей породе	Сингенетичное	Эпигенетичное			Сингенетичное
	Генетические типы вод	Осадочные седиментационно-диагенетические	Гидрогенные		Метаморфогенные	Магматогенные
			Элизионные	Инфильтрационные		
			Гидротермальные			

[8] Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Под ред. Н.П. Лаверова. – М.: изд. АГН, 1998. – 448 с.

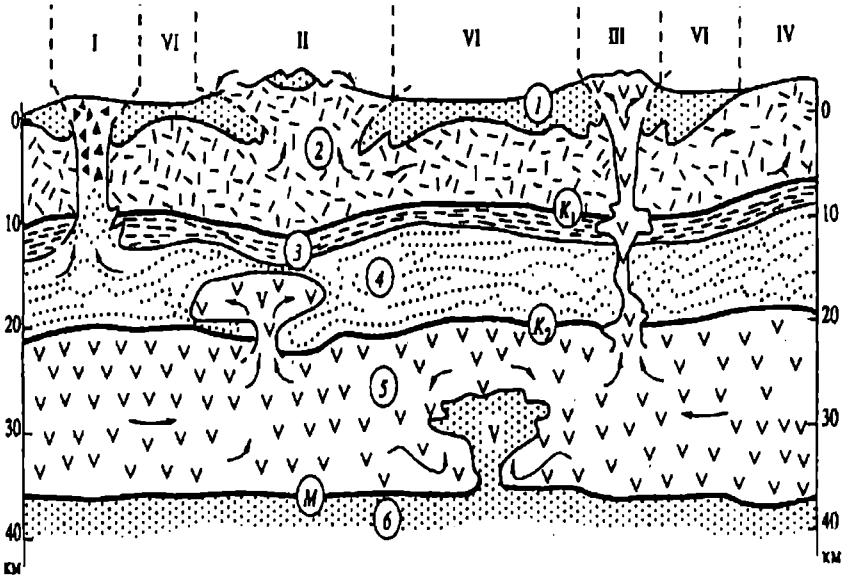

Рис. 1.3. Модель тектонической расслоенности и течений в континентальной литосфере (по М.Г. Леонову и Ю.Г. Леонову):
1 – осадочный чехол; *2* – складчато-метаморфическое (гранитное) основание молодых платформ, где наблюдаются хрупкие и хрупкопластические течения; *3* – зоны мелонитов и линейных структур, в которых преобладает катакластерическое течение; *4* – сиалические породы, характеризующиеся вязким течением; *5* – зона полосчатых смятых метаморфитов (базальтов), магматитов, где происходит пластическое течение; *6* – верхняя мантия; K_1 – граница Конрада; K_2 – кровля пород основного состава, или область их температурного размягчения; *M* – поверхность Мохоровичича; *I–V* – области нагнетания горных масс (*I* – верхне- и среднекоровые кристаллические диапиры и протрузии; *II* – интраконтинентальные орогены; *III* – нижнекоровые мафические диапиры и протрузии; *IV* – щиты молодых и древних платформ; *V* – глубинные нижнекоровые и мантийные диапиры); *VI* – области оттока горных масс (впадины)

Там, где к литосфере снизу подходил вертикальный поток горячего астеносферного вещества (восходящая «струя» конвективного мантийного потока), образовались горы и гидротермальные рудные месторождения. Под такими областями образуется зона разуплотнения, которая становится зоной подсоса астеносферного вещества. Таких зон на суше много,

они подгребают[9] под себя мантийное вещество, а его мало – слой астеносферы тоньше литосферы. Как ни странно, геологи, занятые поисками полезных ископаемых, от этих простых и незамысловатых теоретических построений геофизиков и сейсмологов часто отмахиваются, хотя уже доказано расположение по берегам Тихого океана месторождений руд металлов как бы кольцами, параллельными фронту движения литосферных плит, и чем ближе к океану, тем чаще встречаются кольца тяжелых металлов – железо, ртуть, медь.

На глубинах породы испытывают силы тяжести, и там есть поверхность равного давления, параллельная дневной поверхности, но гравитация играет там неизмеримо меньшую роль: ведь и аквалангист не чувствует своего веса в воде, и порой лишь всплывающие пузыри подсказывают ему, где верх, а где низ. Породы сжаты, и поэтому ось всплытия или условная ось растяжения – это, скорее, ось наименьшего сжатия.

На глубине породы находятся в равновесии, но, выведя систему из состояния равновесия, люди вводят в действие мощные силы: общее взрывоподобное облегчение и расширение, разуплотнение. Допустим, грандиозная трещина разбивает относительно тонкую океаническую литосферу. Небольшое, всего на полпроцента, увеличение земного шара в объеме (вещь вполне реальная) могло бы стать причиной такой трещины. В трещине резко падает давление, с ее дна (100 км под океаном) мантийное вещество поднимается вверх по трещине-трубе, бурно разуплотняется, полностью расплавившись, – и вот уже процесс стабилизируется, становится непрерывным движением плит.

По В.Пономареву, каждый объем горных пород – это бомба, начиненная энергией напряжений, накопленных в геологическом прошлом, которая готова проявиться при простом снятии части нагрузки (при проходке выработки, например) сцементированных вместе, но разнородных по упругим и прочностным характеристикам, по коэффициенту

---

[9] Гагнус А.А. Тайна земных катастроф. – М.: Мысль, 1985. – 189 с.

теплового расширения и прочим свойствам минералов. Эти напряжения могут проявиться при любом изменении температуры, напряженного состояния, проникновения растворов.

Урановые и молибденово-урановые месторождения «Стрельцовского» рудного поля разрабатываются рудниками[10] АООТ «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ранее – ПГХК) и являются типичными сложноструктурными месторождениями гидротермального генезиса, их и рассмотрим подробнее (рис. 1.4).

Стрельцовская кальдера сформировалась в результате процессов, протекавших в позднем мезозое, на пересечении Аргунской ослабленной зоны северо-восточного близширотного простирания и глубинного меридионального разлома. Кальдера площадью 120 км^2 имеет сложную полигональную форму. В строении кальдеры выделяются два структурных этажа: нижний – фундамент, представленный породами протерозоя и палеозоя, и верхний, сложенный осадочно-вулканогенными отложениями верхнеюрского и нижнемелового возрастов. Фундамент кальдеры сложен метасоматическими гранитами с ксенолитами метаморфических пород: доломитизированные известняки, кристаллические и филлитовые сланцы, амфиболиты, кварциты. Промышленные руды установлены на глубине 1500–1800 м, ниже не оконтурены. Верхний структурный этаж – базальты, трахидациты, фельзиты, осадочные породы, имеет мощность 500–600 м. Разрывные нарушения представлены тремя типами: а) глубинные разломы меридионального и северо-широтного простирания, имеющие региональное значение и выходящие за пределы кальдеры; б) бортовые разломы, ограничивающие кальдеру,

---

[10] а) Б.Н. Хоментовский, В.А. Овсейчук. Эксплуатационная разведка при разработке урановых и молибденово-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля // Горный вестник. – 1999. – № 6. – С. 42–49; б) Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья / Под ред. Г.А. Юргенсона. – Новосибирск: Наука, изд. СО РАН, 1999. – 574 с.

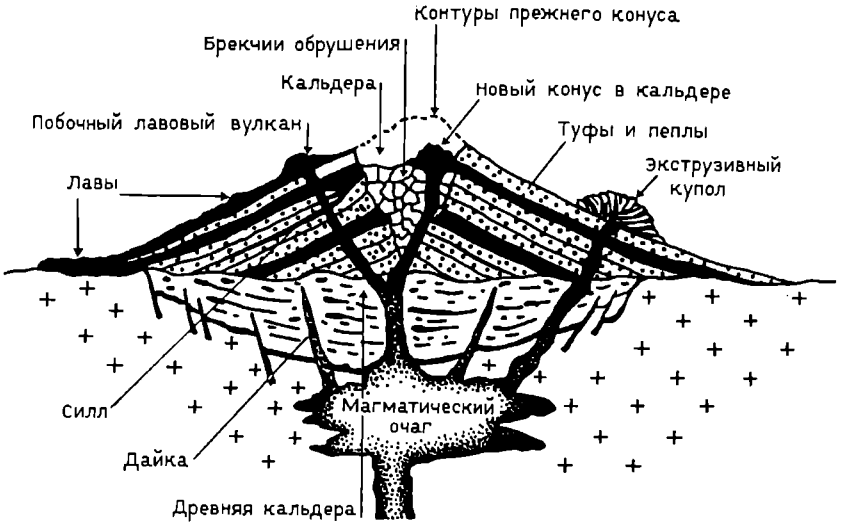

Рис. 1.4. Типичное гидротермальное месторождение в вулканической кальдере

и в) зоны тектонических нарушений, прослеживаемые на площади кальдеры. Оруденение происходило путем как метасоматоза, так и заполнения трещин, имеющих протяженность до 10–12 км и мощность от 100 до 500 м. Зоны трещиноватости имеют сложное строение, в них выделяются крупные крутопадающие тектонические разрывы – швы и более мелкие трещины. По крутопадающим разрывам происходит смещение смежных блоков на десятки метров. Породы вдоль швов мелко раздроблены и милонитизированы. Перемещения блоков горных пород по крутопадающим нарушениям способствовали образованию пологопадающих междупластовых срывов, также сопровождаемых дроблением и милонитизацией нарушенных пород.

Урановое и молибденово-урановое оруденение, образующее месторождение, сформировалось в результате гидротермального процесса, протекавшего уже после образования зон тектонических нарушений. Гидротермальные растворы, распространяясь по крупным тектоническим разрывам и мелкой трещиноватости, сформировали рудные залежи трех морфо-

логических типов: штокверкоподобные, жилообразные и пластообразные. Рудные залежи, в свою очередь, складываются из рудных тел и безрудных участков.

Понятно, что такое месторождение требует детальной геологической разведки, например, по первоначальной сетке 50×25 м (как на рудниках ПГХК), на основании которой составлялись технические проекты строительства рудников: способ отработки месторождения, схема вскрытия, производительность рудника. На основании еще более детальной разведки (по сетке 10×5 м) составлялись планы отработки отдельных участков и блоков. На основании полученных данных гамма-каротажа и рентгено-радиометрического каротажа разведочных скважин, а также информации, накапливаемой при проведении горно-подготовительных выработок, определяют формы и положение в пространстве рудных тел, уточняют физико-механические свойства и устойчивость по-

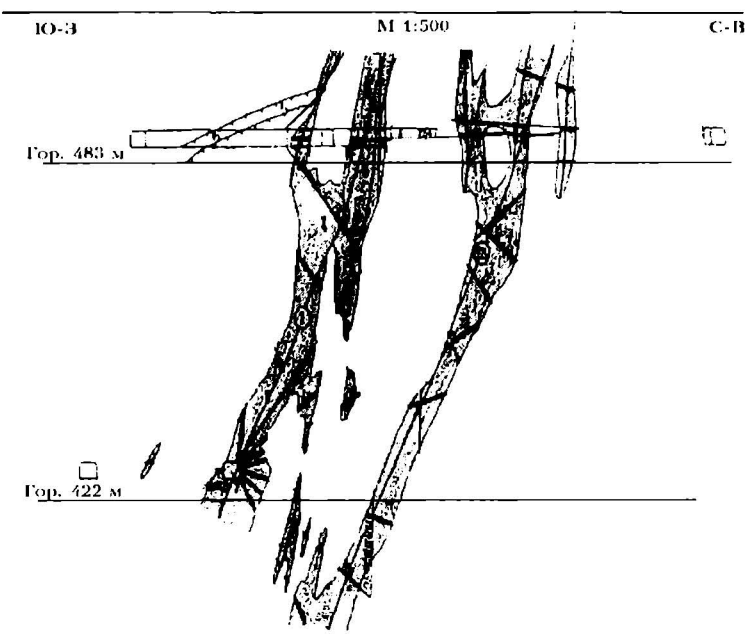

Рис. 1.5. Результаты эксплуатационной разведки по блоку 1-506, рудник № 1

род и руд, уточняют положение в пространстве зон тектонических нарушений и контактов пород различного состава (рис. 1.5, 1.6). По полученным данным принимают решение о системе отработки блока, подсчитывают запасы, результаты подсчетов служат основанием для оперативного планирования добычи руды и металла, а также учета движения запасов блока в процессе его отработки. Физико-механические свойства пород приведены в Приложении.

Отработка сложноструктурных ценных руд всегда представляла труднорешаемую задачу для горной науки и практики. При отработке крутопадающих рудных тел на рудни-

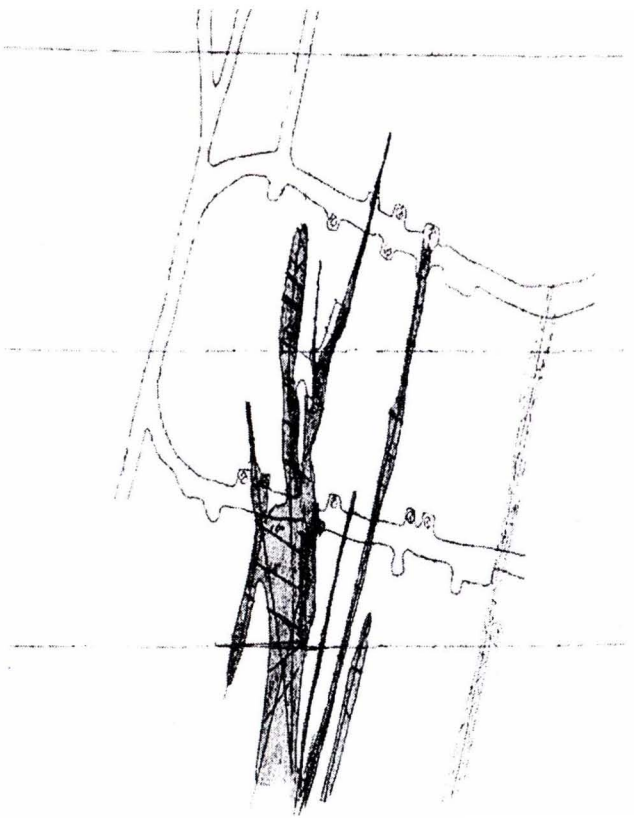

Рис. 1.6. Результаты эксплуатационной разведки по блоку ба-806, рудник № 1

ках ПГХК фактически применяют две системы разработки: нисходящую слоевую и подэтажную.

При слоевой системе участок рудной залежи, заключенный между двумя горизонтами горных работ, разделяют по простиранию на эксплуатационные блоки, имеющие размеры 100–200 м по длине, 50–100 м по ширине и 60 м по высоте. Для подготовки блока на горизонтах горных работ из основных откаточных выработок на всю мощность залежи через 50–100 м проходят орты. Из ортов проходят вертикальные горно-подготовительные выработки: ходовые и материальные восстающие, рудо- и породоспуски. Для отработки блок условно делят на горизонтальные слои высотой 3,5 м. Отработку блока начинают с верхнего слоя. Рудные тела отрабатывают заходками, имеющими ширину 3,5–5 м. Заходки проходят по простиранию рудных тел, повторяя их формы, что позволяет до минимума сократить отбойку пустых пород, обеспечивая полноту выемки руды. После отработки заходки заливают твердеющей смесью. В такой последовательности отрабатывают весь слой, после чего очистные работы переходят на нижележащий слой.

При применении системы с подэтажной отбойкой эксплуатационный блок разделяют на подэтажи, имеющие высоту 10 м. На каждом подэтаже из восстающих выработок проводят один или более подэтажных штреков. В нижней части блока устраивают днище для выпуска отбитой руды. Затем в блоке на всю его высоту создают компенсационное пространство, обеспечивающее размещение в блоке отбитой разрыхленной руды. Отбойку руды осуществляют веерами скважин, которые бурят из подэтажных штреков. По мере отбойки руды часть ее выпускают из блока, а оставшаяся часть заполняет очистное пространство, поддерживая от обрушения боковые породы. После отбойки всей руды в блоке осуществляют ее выпуск через днище.

Немногие пологопадающие пластообразные рудные залежи отрабатывают заходками по восстанию. При этом залежь разделяют горизонтальными выработками на панели, имеющие размеры по восстанию 40–50 м. Панели отрабатывают

заходками по восстанию залежи. Ширину заходок принимают равной 4–5 м. Отбитую руду из заходок доставляют скрепером на нижний штрек, откуда транспортируют в рудоспуски. После отработки заходки на всю высоту панели образовавшиеся пустоты заполняют твердеющей закладкой.

При отработке блоков уточняют границы распространения оруденения, рудные мощности и содержание урана в руде, устанавливают наличие тектонических нарушений и амплитуды перемещений смежных блоков, а также рудных апофиз, усложняющих строение рудной залежи. Сложное строение месторождений требует очень тщательной подготовки к выемке руды, одни только затраты на эксплуатационную разведку составляют 2,55 % всех затрат на добычу руды.

Итак, месторождения представлены преимущественно крутопадающими рудными телами штокверковой и жильной форм гидротермального происхождения. Оруденение приурочено в основном к зонам трещиноватости тектонических разломов и сочленений швов различного направления. По геологическим признакам и характеру процесса сдвижения породы месторождений относятся, по преимуществу, ко II типу, с неслоистым строением. На этих месторождениях обрушение и сдвижение горных пород происходит, как правило, в форме отрыва элементарных и структурных блоков от массива, обрушения или сползания их в выработанное пространство («заплывание» пустоты), причем сдвижения прежде всего можно ожидать на участках ослабления массива тектоническими нарушениями и в местах концентрации напряжений. Скорость «заплывания» подземных пустот и границы распространения процесса сдвижения пород на рассматриваемых месторождениях зависят от множества факторов, основными из которых являются «подвижность» или вязкость массива, зависящая прежде всего от степени элементарной нарушенности массива, характера поверхности и заполнителя контактов между отдельностями, а также пространственного расположения в бортах и кровле выработки относительно крупных тектонических разломов.