

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК КАК ГЕОРЕСУРСА

Сборник VII международной конференции «Новые идеи о науках о Земле».
М.: изд. РГГРУ, 2007, т. 6. – с. 216-219.

Горные предприятия с точки зрения изучения, проектирования, организации и управления относятся, как геосистемы, к высшей категории сложности, и только при наличии своевременной и объективной информации о состоянии массива возможно производить **динамический многомерный анализ** существующего положения, моделирование и прогнозирование будущего развития горных работ, особенно на сложноструктурных месторождениях гидротермального генезиса, с учётом предупреждения негативных экологических последствий для окружающей среды. Геологический разрез типичного гидротермального месторождения приведён на **рис. 1**. Видно, что проектировщикам и руководителям производства приходится выбирать эффективную систему разработки, её параметры - для различных напряжённых и разбитых трещинами участков и блоков, не забывая при этом о безопасности, себестоимости добычи и о полноте извлечения руды.

С одной стороны, до настоящего времени организация подземной разработки месторождений практически не предусматривает дальнейшее использование преобразованных недр, исключение составляют лишь месторождения природных каменных строительных материалов, гипса, известняка, каменной и калийной соли. Недра, после извлечения из них полезных ископаемых, - нарушены пустотами, которые можно и нужно использовать как новый георесурс (по терминологии акад. М.И.Агошкова и К.Н.Трубецкого), в качестве готовых подземных сооружений - для промышленных целей, складирования товаров и захоронения отходов (**рис. 2**). Тем самым решаются две задачи: а) использование недр в новом функциональном качестве и б) ликвидация отвалов, хвостохранилищ и других экологически вредных, промышленных объектов на земной поверхности; - снижая антропогенную нагрузку на среду обитания.

С другой стороны, с увеличением глубины подземных горных работ и усложнением горно-геологических условий повышается риск ошибки в выборе технологии добычи и параметров очистных выработок. Поэтому оценить сложность геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды на месторождении в целом и в конкретном эксплуатационном блоке (**рис. 3**), может специально организованная **геомеханическая служба**, сопровождающая добычу руды и работающая на опережение аварий. Такой опыт уже есть – на урановых рудниках Минатома. Сложноструктурные месторождения отличаются резкими перепадами устойчивости массива, чередованием зон разгрузки и избыточного горного давления, расчленением массива тектоническими разломами, - естественно, в таких условиях огромное значение придаётся **сопровождающей эксплуатационной разведке**. Например, на уран-молибденовых месторождениях Забайкалья затраты на разведку горно-буровой системой составляют 2...2,5% всех затрат на добычу руды. А ведь по материалам каротажа скважин и опробования горных выработок можно уточнить не только условия залегания руды, но и прогнозировать (**для динамического проектирования отработки блока**) изменения геомеханического состояния горного массива при проведении выработок и при добыче руды, оценить параметры НДС и сдвигения, используя современные информационные технологии (**рис. 4**).

Конечно, это потребует дополнительных знаний о горном массиве, особое же значение приобретает **научное обоснование выбора** безопасной, экологичной и производительной технологии добычи руды и варианта последующего использования преобразованных недр, а также геомеханический, технологический и эколого-экономический **прогноз последствий** воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Как известно, выбор технологий подземной разработки базируется, помимо данных о геологии месторождения, - на оценке **эффективности, производительности и безопасности** добычи руды. Производительность обусловлена величиной эксплуатационных запасов руды

и сложностью горно-геологических условий добычи. Безопасность также определяется сложностью условий добычи и применяемыми способами управления состоянием горного массива. В результате, экономическая эффективность извлечения руды зависит и **от горно-геологических условий добычи и от затрат на очистную выемку и на управление состоянием горного массива.**

Для оценки правомерности переноса опробованных и эффективных технологических решений в новую геологическую среду - можно использовать принципы подобия, известные в моделировании, а для качественной и количественной оценки подобия самих массивов нами предлагается общий показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке (**рис. 5**).

Факторы, влияющие на выбор оптимальной технологии добычи руды, разделяют на две части: на условно-постоянные и на условно-переменные факторы. Это – известно. Экономическую эффективность деятельности предприятия оценивают по инвестиционным параметрам: **по чистому дисконтированному доходу, индексу доходности, внутренней норме прибыли, сроку окупаемости – с учётом риск-менеджмента** (оценка производственного, экономического, инвестиционного, ценового, кредитного и др. рисков). Теперь рассмотрим, какое значение в этой связи имеет собственно геомеханическое обоснование выбора технологий с учётом дальнейшего использования георесурса.

Само **геомеханическое обеспечение** добычных работ уже позволяет существенно снизить расходы на извлечение руды за счёт оптимизации параметров выработок и предотвращения самих аварий - обрушений, горных ударов (т.е. снижаются потери, разубоживание и в целом себестоимость). Прощупывая геофизическими и маркшейдерскими методами горный массив можно уточнять планы горных работ и технологию добычи, в зависимости от степени устойчивости массива (при проходке выработок такая оперативная оценка массива с выбором крепи - называется **новоавстрийским методом**¹ «New Austrian Tunneling Method», патент² 1958 г.).

Предполагая в последующем использовать подземное пространство как георесурс, можно заблаговременно укрепить массив и отдельные выработки, например, пространственно-ориентированными защитными конструкциями (**рис. 6**) - в шахтостроении широко применяются отдельные методы сооружения защитных конструкций – «стена в грунте», «опёртый свод», «опорное ядро», «фазовая проходка».

А теперь оценим экономическую эффективность геомеханического обоснования добычи руды и последующего использования пустот – как целевую функцию (**рис. 7**).

Независящие от геомеханического обоснования (условно-постоянные) затраты на освоение месторождения включают затраты - от геологоразведки до маркетинга, обогащения и гидрометаллургического передела. **Дополнительные** (условно-переменные) затраты складываются из затрат на геомеханическую службу, на сооружение защитных конструкций, на дальнейшее использование подземных выработок как георесурса.

Помимо денежной выручки от реализации товарной продукции горное предприятие может получать **дополнительные** средства от коммерческого использования подземных выработок, как готовых сооружений. Кроме того, перенос в горные выработки промышленных предприятий, отвалов и хвостохранилищ снижает площади земельного отвода, высвобождает земельные угодья под сельскохозяйственную деятельность и снижает техногенную нагрузку на окружающую среду.

¹ Технология следующая. После обнажения пород наносят слой набрызгбетона толщиной 5...10 см, затем возводят основную анкерную крепь длиной 3...6 м с закреплением химическими вяжущими, а потом - дополнительную анкерную крепь с закреплением уже цементным раствором. На анкерной крепи крепится арматурная сетка, после чего наносится ещё один-два-три слоя бетона с отставанием во времени. Работы по наращиванию крепи могут осуществляться как в период строительства, так и во время эксплуатации подземного сооружения, в зависимости от развития смещений вмещающего породного массива.

² «Создание охранной конструкции регулируемого (нарастающего) сопротивления, использование окружающего выработку массива пород в качестве несущего элемента, поэтапное усиление охранной конструкции путём введения в неё различных стабилизирующих элементов, выбранных на базе оценки техногенного воздействия на вмещающий массив».

Теперь оценим плюсы и минусы от геомеханического выбора технологии добычи руды с использованием подземных выработок как георесурса – по чистому дисконтированному доходу (**ЧДД**), с поправкой на риск и дисконт, при этом целевая функция стремится к максимуму:

$$\text{ЧДД} = \{(\Sigma R - \Sigma Z) + (\Sigma П - \Sigma P)\} \cdot \alpha_t \cdot \beta_t \Rightarrow \text{MAX}$$

где **ΣR** – результаты реализации готовой продукции и другой коммерческой **традиционной** деятельности горного предприятия, т.е. сумма полученных денег от продажи металла или концентрата, руб.;

ΣZ – инвестиционные, капитальные и текущие, эксплуатационные затраты (сумма потраченных денег) на выпуск **традиционной** готовой продукции горного предприятия, т.е. независимые от нового геомеханического обоснования затраты на освоение месторождения, руб.:

- геологоразведка;
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИР и ОКР);
- проектирование;
- сооружение капитальных и подготовительных горных выработок;
- вентиляция;
- водоотлив;
- нарезные и очистные работы;
- закладка;
- транспорт;
- подземное и кучное выщелачивание;
- обогащение и гидрометаллургический передел;
- маркетинг;

$\Sigma П$ – **дополнительный** приток денежных средств от снижения потерь и разубоживания руды в результате геомеханического сопровождения очистной выемки, от коммерческого использования подземного пространства (склады, завод, обогатительная фабрика, могильник и т.д.); кроме того, на региональном уровне следует учитывать коммерческую выгоду от вовлечения высвобождённых земельных угодий в сельскохозяйственный оборот, от снижения техногенной нагрузки (ущерба) на окружающую среду – т.е. позитивные экологические последствия использования георесурса, руб.;

ΣP – **дополнительные** капитальные и эксплуатационные затраты на опробование скважин и выработок, на геомеханическую службу, подготовку отходов - к захоронению, а бедной руды, хвостов – к выщелачиванию, на обустройство подземного пространства, на сооружение защитных конструкций, т.е. на дальнейшее использование подземных выработок как георесурса, руб.;

α_t – поправка на риски;

β_t - коэффициент дисконтирования, равный

$$\beta_t = 1 / (1+E)^t ,$$

t – шаг расчётов, например, квартал или год;

E - норма дисконта, принимается равной достаточному для инвестора уровню дохода на его вложения в производство готовой продукции, например, 15% , тогда **$E=0,15$** .

Как пример использования предложенной оценки, рассмотрим структурную схему решения задач диссертации на тему «Геомеханическое обоснование выбора технологии подземной добычи руды с последующим использованием пустот» (**рис. 8**). В диссертации проанализированы технологии освоения самых сложных в отработке и многочисленных (составляющих по запасам 70÷80%) сложноструктурных месторождений цветных, благородных, редких, радиоактивных и рассеянных металлов магматогенно-метасоматической гене-

тической группы. Технологии рассмотрены на примере усовершенствования наиболее широко применяемых систем разработки (по классификации акад. М.И.Агошкова) – с открытым очистным пространством, с твердеющей закладкой и с обрушением руды и пород, которыми на рудниках отрабатываются не менее 65% запасов цветных, редких и радиоактивных металлов (по данным ИПКОН РАН). Эффективные технологии и методики, опробованные в таких сложных условиях, можно успешно применять и в более благоприятной геологической среде.

Результаты научно-исследовательских и опытно-промышленных работ автора приведены на месторождениях Приаргунского и Целинного горно-химических комбинатов – приведена на **рис. 9**, реализация выполненных исследований – приведена на **рис. 10**.

Использованная литература

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. /РАН, АГН, РАЕН; Под ред. К.Н.Трубецкого.- М.: изд. АГН, 1997. – 478 с.
2. Хоментовский Б.Н., Овсейчук В.А. Эксплуатационная разведка при разработке урановых и молибденово-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. - Журнал «Горный вестник», 1999, № 6, с. 42-49.
3. Порцевский А.К. Геомеханический подход к выбору технологии освоения месторождений, горно-технологический аудит. - «Безопасность труда в промышленности», № 7, 2006. – с. 32-25.
4. Плешко М.С., Ягодкин Ф.И. Перспективы внедрения принципов новоавстрийского метода крепления выработок при строительстве вертикальных стволов. - Сборник научных трудов Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ), 2006 г.

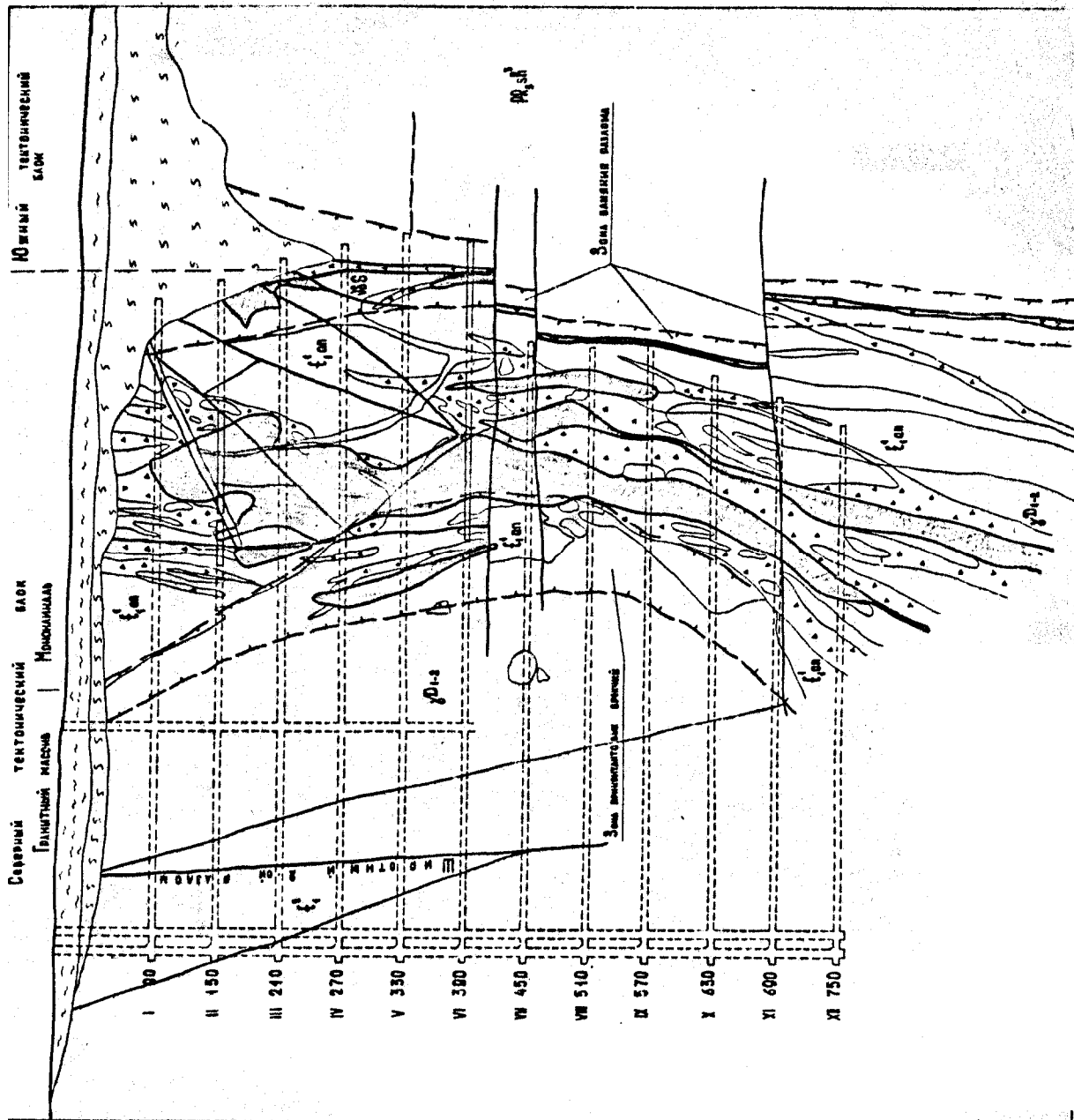
Полный текст учебных пособий автора можно увидеть на сайте кафедры «Охраны недр и рационального природопользования» МГОУ:

geoprotection.narod.ru

и на сайтах Министерства образования и науки РФ:

informika.ru и **window.edu.ru**

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ГРАЧЁВСКОЕ»



Условные обозначения

Осадочные образования

Мезозойские отложения

Оложения мидерта, глины, суглинки, дресвер-пирас-нижерская кора выветривания глинистого, шебнисто-глинистого состава



Палеозойские отложения

Выаногенно-кременистая свита, кременистая пачка и пачка перераивания, кременистые сланцы, песчанки, тонкопесчаные вающиеся алевролиты, аргиллиты и песчанки, известняки андревская свита, кварцевая и песчано-глинистая пачка, кварцевидные и порфировидные песчанки, алевролиты, аргиллиты, реже сланцы и известняки



Верхнепротерозойские отложения

Шаринская свита, углисто-карбонатная пачка, углистые аргиллиты, углисто-кременисто-глинистые сланцы, известняки, доломиты



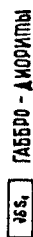
Интрузивные образования

Дальневосточный комплекс лейкогранито-вых гранитов

Астаевский массив, граниты лейкогранитовые средне-криптокристальные



Зерендинский ранне-сибирский комплекс гранитоидных интрузий



Метасоматические образования

Зислазивные брекчи, замеченные продолгами напорного метасоматоза



Тектонические нарушения

Разломы

Крипные: Кварцевый, Басилейский, Линейный
Средние: Широкий 2-ой, Северо-Восточный 1-ый, Лесной
Мелкие

Крупные мангровещины

Зоны дробления

Границы инженерно-геологических участков и элементов

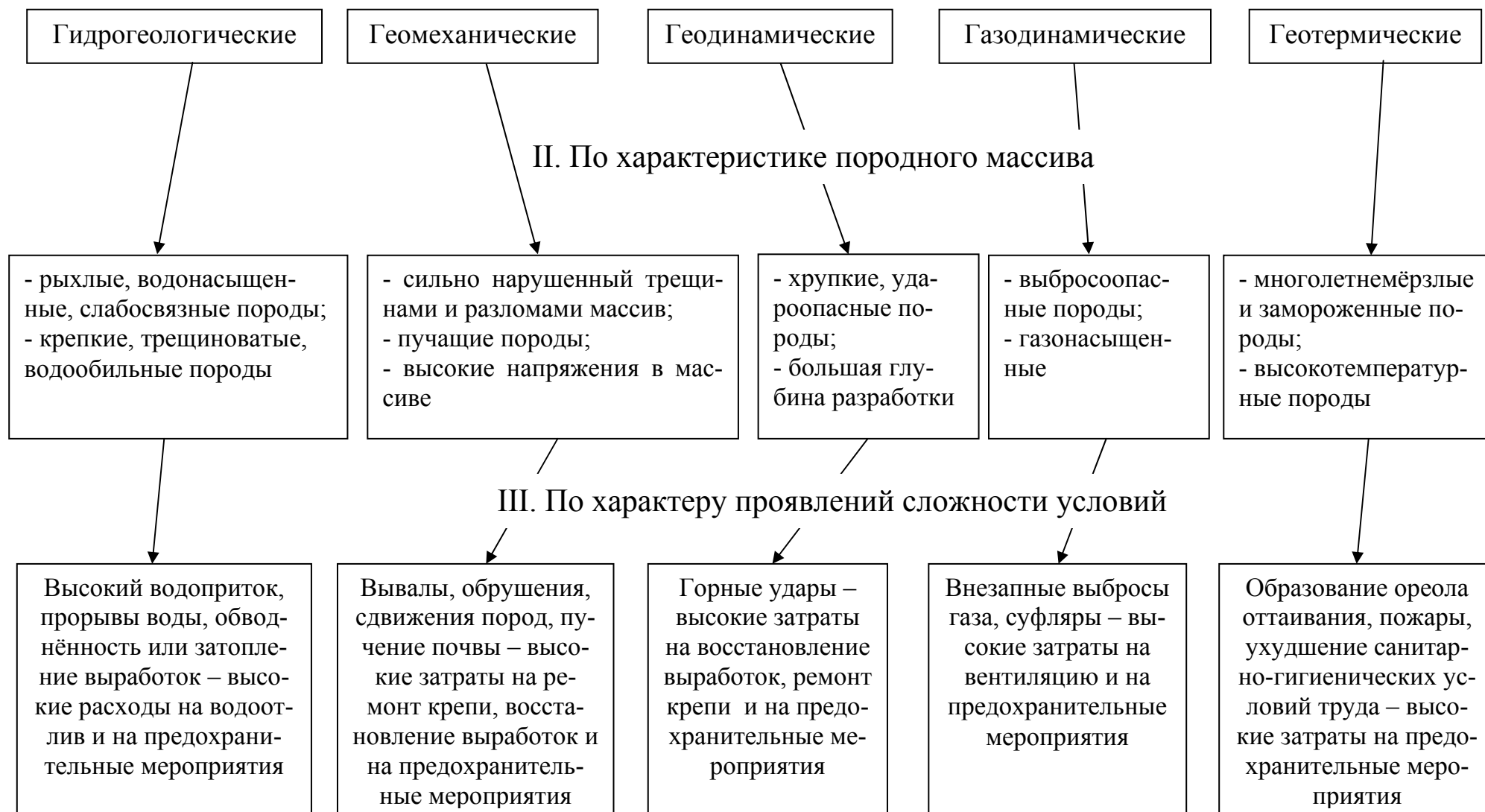


Систематизация осваиваемых подземных пустот

1. По назначению
<p>а) промышленные: заводы и лаборатории, энергетические установки, обогатительные фабрики, ёмкости-перколяторы...</p> <p>б) сельскохозяйственные: хранилища пищевых запасов, силосные ямы, выращивание грибов (вешенка, шампиньоны)...</p> <p>в) оборонные: заводы, укрытия для людей и техники, пусковые ракетные установки, аэродромы...</p> <p>г) хранилища и могильники:</p> <ul style="list-style-type: none"> - хранилища нефти, газа, продовольственных и других стратегических запасов, резервуары для забалансовой руды и хвостов обогащения; - могильники бытовых, токсичных, химических и радиоактивных отходов; <p>д) культурологические: подземные торговые и бизнес центры, гаражи, убежища, музеи, транспортные магистрали, инженерные коммуникации...</p> <p>е) медицинские: гала-спелео-терапия в солях, радоновые ванны...</p>
2. По продолжительности использования пустот
<p>а) долговременные, более 50 лет;</p> <p>б) средней продолжительности, 20-50 лет;</p> <p>в) малой продолжительности, менее 20 лет.</p>
3. По значимости
<p>а) высшая категория охраны, не допускает никаких деформаций полости;</p> <p>б) средняя, допускает малые деформации стенок, кровли и почвы полости;</p> <p>в) малая, допускает деформации.</p>
4. По местоположению
<p>а) в городских условиях, например, катакомбы;</p> <p>б) в сельской местности, например, естественные пещеры;</p> <p>в) на заброшенных шахтах и рудниках;</p> <p>г) на действующих шахтах и рудниках.</p>
5. По технологии поддержания устойчивости пустот
<p>а) естественное поддержание;</p> <p>б) полости, постоянно заполненные материалом (хранилища, могильники, перколяторы);</p> <p>в) крепление кровли, стенок и почвы полости;</p> <p>г) управление несущей способностью горного массива: разгрузка напряжённых зон массива, инъектирование вяжущими растворами слабых зон, сооружение пространственно-ориентированных опорных конструкций, заполнение неиспользуемых пустот обрушением пород или искусственными материалами (сухая, гидравлическая или твердеющая закладка, породы из отвалов, хвосты...).</p>
6. По масштабности, разветвлённости и глубине расположения
<p>а) малые пустоты с широкой разветвлённостью на небольшой глубине;</p> <p>б) средних и больших размеров пустоты, изолированные друг от друга, на средней глубине;</p> <p>в) средних и больших размеров пустоты, никак не связанные друг с другом, на большой глубине.</p>

Систематизация признаков сложноструктурных рудных месторождений, участков и блоков

I. По типу сложных условий



КОМПЛЕКС АВТОРСКИХ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

(для выбора эффективного технологического решения)

1. Выбор способа разработки, где рассматриваются варианты добычи руды открытым, подземным и комбинированным способом, с кучным, подземным выщелачиванием и с переработкой руды на обогатительной фабрике.
2. Выбор рациональной производительности по забою, блоку на основе обеспечения стабильности качества разносортной рудной массы.
3. Выбор системы разработки, объёмов и местоположения изолируемых пустот, вида закладки на основе прогноза сдвижений объектов горной охраны.
4. Выбор системы разработки, размеров выработок, целиков, прочности закладки, порядка и скорости ведения горных работ на основе прогноза НДС подработанного массива.
5. Выбор системы разработки, размеров выработок, породных целиков, прочности искусственных массивов на основе прогноза удароопасности.
6. Выбор параметров днища камер, режима выпуска для систем разработки с массовым обрушением на основе прогноза показателей извлечения рудной массы.

ПОКАЗАТЕЛЬ СЛОЖНОСТИ

геолого-морфологического строения и горно-технологических признаков

$$\Omega = \frac{\sum \Omega_i}{n}$$

где Ω_i - показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических признаков i -ого геологического разреза по данному эксплуатационному блоку

$$\Omega_i = \frac{1}{\xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 \xi_5}$$

n - число геологических разрезов по эксплуатационному блоку;

ξ_1 - показатель сложности структурного типа эндогенных рудных месторождений, учитывающий геологические характеристики: а) структуру рудного поля, осложнённую разрывными нарушениями; б) тип рудного месторождения; в) тип рудоносного вулканического сооружения;

ξ_2 - показатель контактов рудных и безрудных участков:

$$\xi_2 = \frac{L_i \omega_i}{S_i}$$

где L_i - суммарная длина контактов рудных тел с вмещающими породами в пределах рассматриваемого i -того геологического разреза, замеряется курвиметром на разрезе, м; ω_i - мощность i -того слоя пустых пород, попадающих в руду, или мощность слоя руды, попадающей в породу при валовой их выемке, м; S_i - площадь i -ого геологического разреза в пределах эксплуатационного блока, м²;

ξ_3 - показатель распределения металла в руде, определяемый двумя способами - на основании подсчёта:

а) или общего коэффициента вариации (известного в геологии) содержания и мощности слоя металла в руде

$$\xi_3 = \sqrt{k_c^2 + k_m^2},$$

где k_c и k_m - соответственно коэффициенты вариации содержания металла и вариации мощности рудного пропластка в кернах;

б) или комплексного показателя расширенного качества полезного ископаемого (по Г.Г.Ломоносову):

$$\xi_3 = \frac{\sum (Q_i^{пол} \alpha_i) - \sum (Q_i^{вредн} \beta_i)}{Z_k}$$

$Q_i^{пол}$ и $Q_i^{вредн}$ - количественные значения каждого полезного и вредного качества (например, содержания), в отн. един.; Z_k - ценность конечной продукции; α_i и β_i - значимость, степень влияния рассматриваемого качества на себестоимость добычи и обогащение полезного и вредного качества;

ξ_4 - показатель проявления НДС горного массива, учитывающий (в относительных единицах):

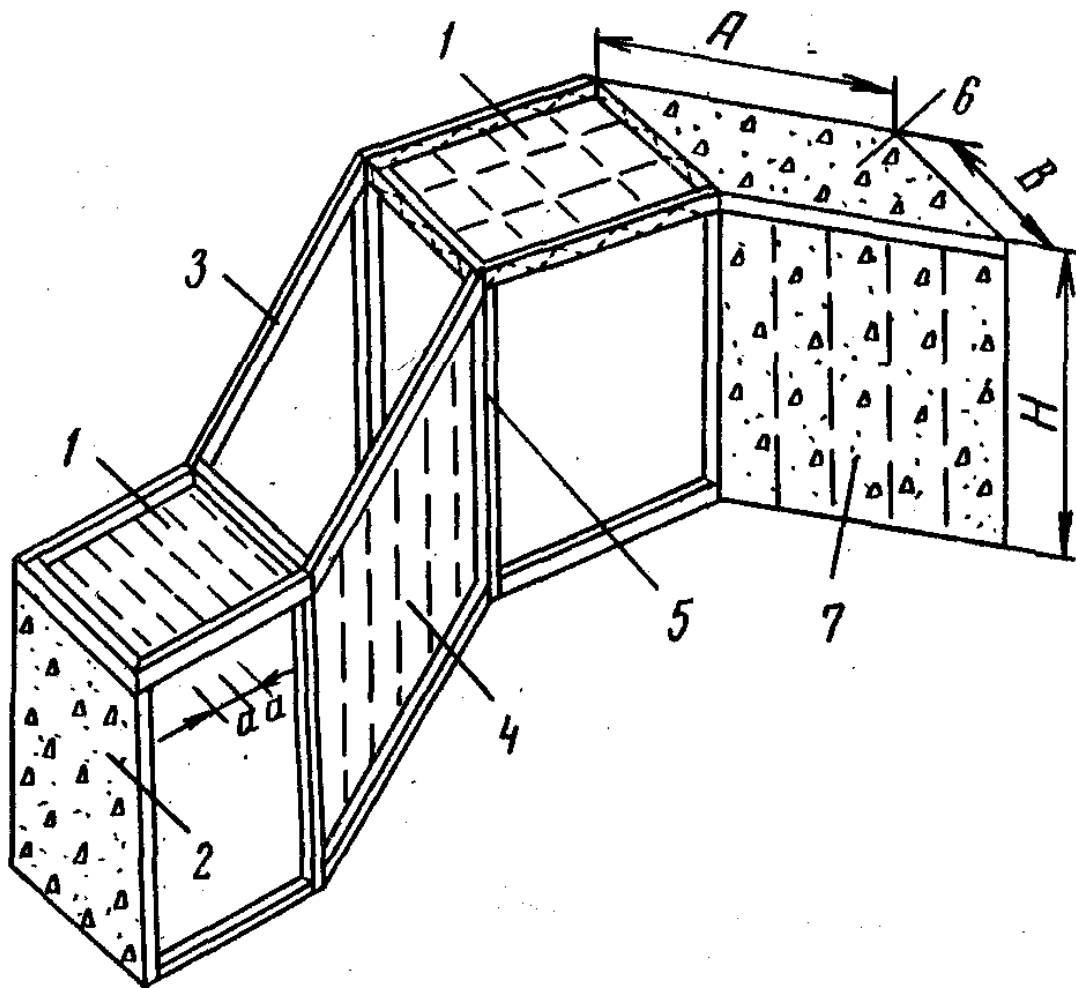
а) коэффициент структурного ослабления прочности пород на одноосное сжатие (k_o), отн. ед.; б) показатель удароопасности (Π_y), %; в) коэффициент концентрации напряжений (k_k), отн. ед.:

$$\xi_4 = k_o (1 - 0,01 \Pi_y) k_k$$

ξ_5 - показатель горно-технологических условий добычи руды, учитывающий (в относительных единицах): а) способ разработки (подземный, открытый, геотехнологический, комбинированный); б) способа вскрытия (стволами, штольнями, комбинированно); в) систему разработки; г) вариант управления горным давлением (целики, крепление, разгрузка, закладка, обрушение, сооружение пространственных опорных конструкций); д) способ проветривания очистных и проходческих выработок (включая меры по пылеподавлению, дегазации); е) способы борьбы с водопритоком; ж) меры по управлению качеством, стабильностью рудной массы.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. Этажерка



- 1 - облегчённая потолочина с армировкой; 2 - монолитная стенка;
 3 - ростверк; 4 - облегченная стенка с армировкой;
 5 - колонна; 6 - монолитная потолочина;
 7 - монолитная стенка с армировкой.

Критерий эффективности – целевая функция

$$ЧДД = \{(\Sigma R - \Sigma Z) + (\Sigma П - \Sigma P)\} \cdot \alpha_t \cdot \beta_t \Rightarrow MAX$$

Результаты (плюс)

ΣR – от продажи готовой продукции

Дополнительный приток денег

$$\Sigma П = Ц_{г} + Ц_{р} + Ц_{и} + Ц_{з} + Ц_{с} + Ц_{сх} + Ц_{эк}$$

$Ц_{г}$ - экономический эффект от геомеханического сопровождения добычи руды – снижение потерь, разубоживания руды, себестоимости добычи;

$Ц_{и}$ - извлечение дополнительного металла при выщелачивании бедной руды, хвостов и отвалов – размещённых в подземных камерах и в зонах обрушения;

$Ц_{р}$ - размещение промышленных объектов в устойчивых горных выработках, т.е. арендная плата или продажа помещений;

$Ц_{з}$ - захоронение в горных выработках радиоактивных, токсичных, бытовых и др. отходов;

$Ц_{с}$ - сокращение площадей земельного отвода, за счёт частичного переноса отвалов и хвостохранилищ - в выработанное пространство;

$Ц_{сх}$ - коммерческая выгода от вовлечения высвобождённых земельных угодий в сельскохозяйственный оборот,

$Ц_{эк}$ – снижение ущерба окружающей среде, нагрузки на экологию

Затраты (минус)

ΣZ – на получение готовой продукции

Дополнительные затраты

$$\Sigma P = Z_{р} + Z_{оц} + Z_{к} + Z_{защ} + Z_{подг} + Z_{отх} + Z_{выщ}$$

$Z_{р}$ - опробование скважин и выработок при сопровождающей эксплуатационной разведке;

$Z_{оц}$ - оценка несущей способности, НДС и сдвижений массива, оперативные рекомендации по изменению параметров проходческих и очистных работ;

$Z_{к}$ - усиленная крепь горных выработок, планируемых к использованию после окончания очистных работ;

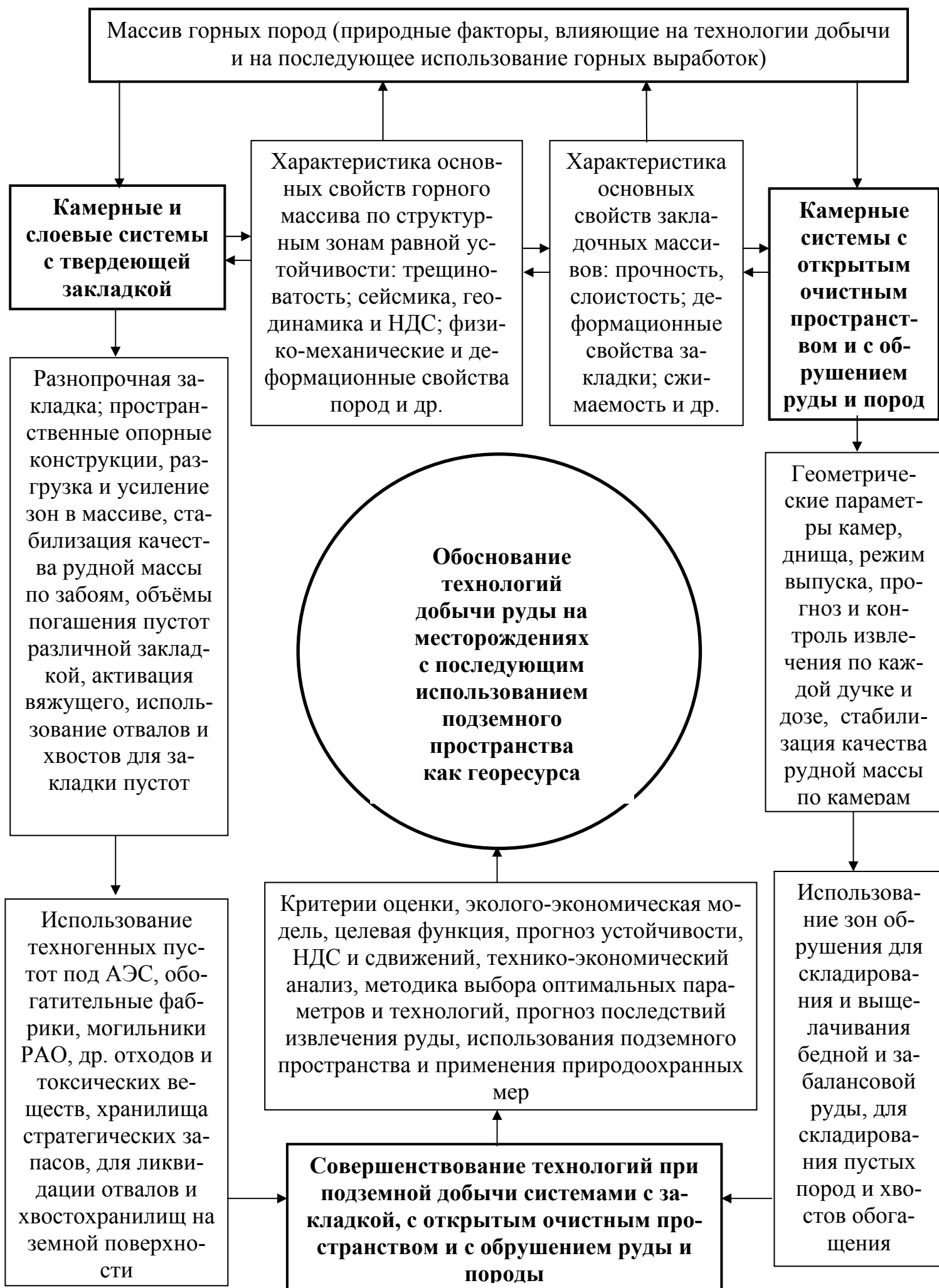
$Z_{защ}$ - заблаговременное укрепление горного массива защитными пространственно-ориентированными конструкциями;

$Z_{подг}$ - подготовка выработок к их использованию как промышленных объектов, т.е. коммуникации, изоляция, дренаж, вентиляция, транспорт и т.д.;

$Z_{отх}$ - подготовка радиоактивных, токсичных, бытовых и др. отходов к захоронению;

$Z_{выщ}$ – подземное выщелачивание бедной руды, хвостов и отвалов в камерах и зонах обрушения

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУДЫ



РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

1. Обоснована **методология выбора** технологии разработки месторождений с последующим использованием подземного пространства.
2. Разработана систематизация признаков сложноструктурных образований, рудных месторождений, участков и блоков.
3. Предложен общий **показатель сложности** геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке.
4. Разработаны **методики оценки** технологий и геомеханического анализа состояния недр:
 - для камерных и слоевых очистных выработок – выбор параметров обнажений кровли и бортов, зон концентрации напряжений и критических деформаций горного массива;
 - для нарушенного горного массива – оценка величин оседаний, деформаций, наклонов и кривизны;
 - для систем этажного и подэтажного обрушения руды и пород – выбор расстояния между дучками, диаметра воронок, объёмов единичной, максимальной дозы и режима выпуска;
 - для камерных и слоевых систем разработки с твердеющей закладкой - выбор параметров искусственных потолочин и днищ, сформированных из разнопрочных пачек;
 - для камерных и слоевых систем разработки - выбор объёмов погашения пустот различными видами закладки и изоляцией;
 - для стабилизации качества рудной массы – выбор объёмов добычи по забоям многокомпонентного сырья.
5. Обоснованы технологии создания пространственно-ориентированных **опорных конструкций** – для заблаговременного укрепления неустойчивого массива и для дальнейшего использования недр в качестве подземных сооружений.
6. Предложены **технологии эффективной добычи** руды на сложноструктурных месторождениях системами с открытым очистным пространством, с твердеющей закладкой и с обрушением руды и пород
7. Предложена **систематизация осваиваемых пустот** и технологии последующего использования выработанного пространства на рудниках.

Реализация выполненных исследований

1. Создание альбомов типовых технологических схем высокотехнологичной подземной разработки урановых месторождений Минатома (три проекта: нисходящая слоевая система, подэтажно-камерная система на мощных и на маломощных залежах, со щелевой отбойкой).

2. Разработка отраслевой «Инструкции по безопасному ведению горных работ и контролю за сдвижением породных массивов в предохранительных зонах шахт Приаргунского горно-химического комбината» и «Положения о геомеханической службе».

3. Внедрение в производство: разнопрочной твердеющей закладки, пространственных опорных конструкций, методик прогноза сдвижений, обрушений пород и напряжённо-деформированного состояния нарушенного горными работами массива.

4. Опубликование в издательстве МГГУ монографии «Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология», объёмом в 767 страниц.

5. Разработка двух изобретений и шести прикладных компьютерных программ, на четыре из которых получены свидетельства об их регистрации во ВНИИ;

6. Издание 30 авторских учебных пособий, из них: на 5 пособий получен гриф УМО, 10 пособий - зарегистрированы в Федеральном агентстве по образованию, 16 пособий - опубликованы в электронной библиотеке системы федеральных образовательных порталов www.window.edu.ru.

7. Подготовлен раздел «Геоэкология горного производства» для учебника под ред. проф., д.г.-м.н. А.Г.Милютин «Экология: геоэкология недропользования», издательство «Высшая школа» - выходит в мае-июне 2007 года.