

Глава VII. Варианты использования подземного пространства

§ 1. Систематизация объектов, размещаемых в подземном пространстве

Использование ресурсов недр должно сейчас и в будущем предполагать не только собственно извлечение полезного ископаемого, но и преобразование недр в новый источник георесурсов в интересах дальнейшего устойчивого общественного развития. Решение этой двойной задачи – использование недр и их сохранение как **видоизменяемого георесурса** жизнеобеспечения общества – составляет современное идейное содержание горных наук, комплексного освоения недр¹. Активно развиваемое перспективное научное направление в составе комплексного освоения недр (освоение подземного пространства) понимается сегодня узкотрадиционно: лишь как использование природных и техногенных полостей. В более широком смысле сохранение недр подразумевает процесс управления состоянием недр и изменения их функционального назначения, чтобы получить восполняемый георесурс.

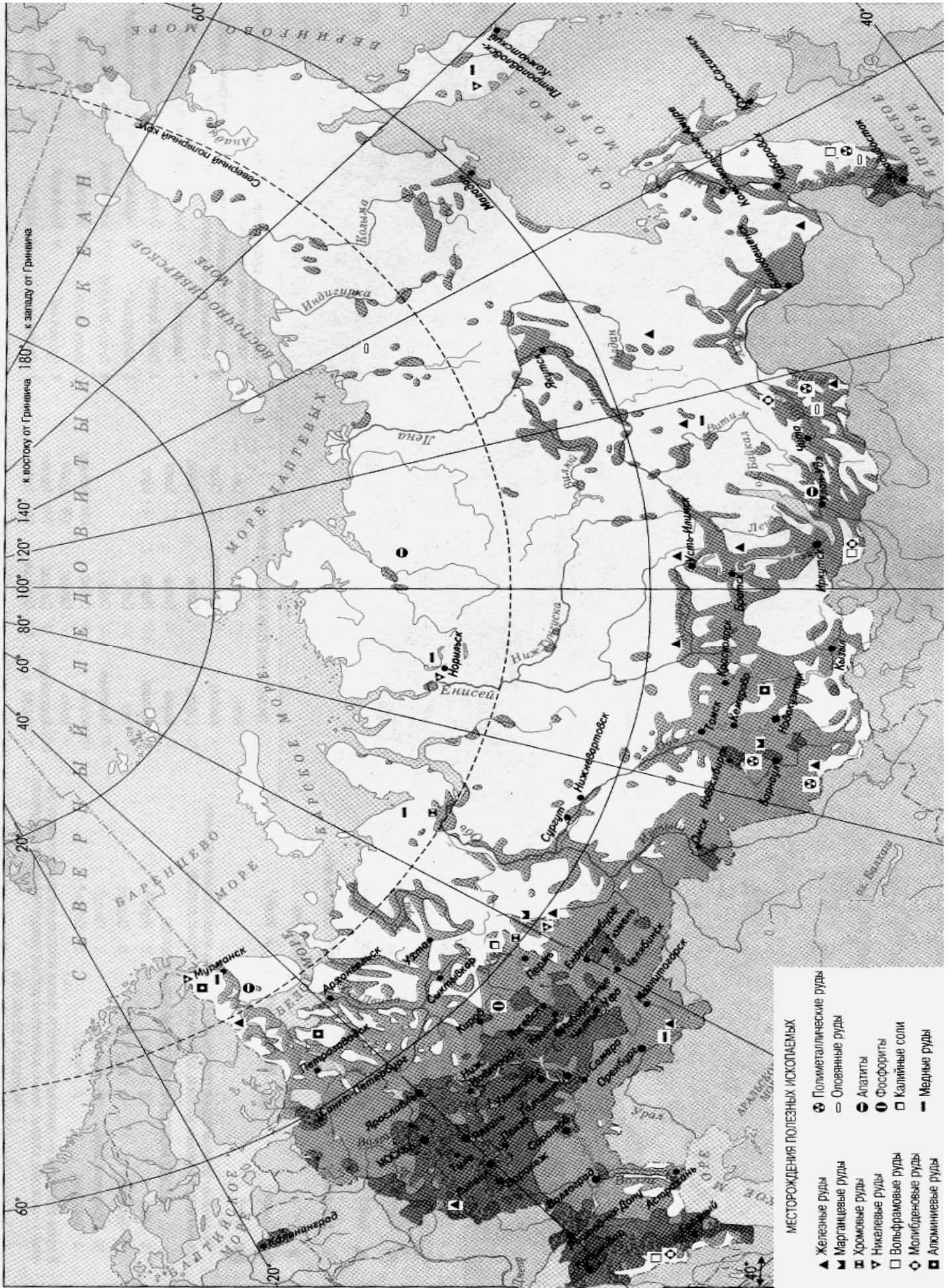
Основными преимуществами подземного пространства являются его независимость от сезонных ритмов, защита от вредителей и возможность контроля окружающей среды.

Насколько широка перспектива использования недр только на рудниках и шахтах можно оценить по нижеприведённой **карте России** основных месторождений негорючих полезных ископаемых и плотность сельского населения (чем гуще цвет, тем выше плотность). Известно², что в настоящее время 80% зерновых хранится там, где производится. В этих условиях на них воздействуют дождь, избыточная влажность, тепло, холод, насекомые, плесень, бактерии, грибки, птицы; они подвержены прорастанию, прогорклости, перезреванию...

Одним из наиболее перспективных направлений использования подземного пространства является применение сухих и проветриваемых помещений под хранилища пищевых запасов, ведь известно, что огромная часть выращенного урожая ежегодно теряется из-за недостаточности объёмов зерно- и овощехранилищ.

¹ Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. Под ред. К.Н.Трубецкого. - М.: изд. Академии горных наук, 1997. - 478 с.

² Bergman M.S. The development and utilization of subsurface space// Tunneling and underground space technology, 1986, с.1, №2, s. 115-144.



Известны многочисленные примеры эффективной и безопасной утилизации техногенных подземных пространств (выработок). Международная Тоннельная Ассоциация, в лице своей рабочей группы по планировке подземных пустот по назначению, подразделяет **утилизируемые техногенные подземные пространства** на пять основных групп: а) музеи горного дела; б) объекты социально-бытового назначения (офисы, товарные базы, производственные помещения, клиники); в) хранилища долгосрочного резерва, можно использовать и для выращивания грибов, лекарственных растений; г) захоронения промышленных отходов, в том числе «могильники» для радиоактивных отходов; д) научно-исследовательские лаборатории и экспериментальные установки, включая подземные атомные электростанции.

Известна классификация повторно используемых подземных сооружений по новому функциональному назначению А.В.Корчака³:

1. Энергетика – подземные АЭС, ГАЭС, хранилища нефтепродуктов, газоконденсата, станции теплоснабжения, аккумуляторы энергии.

2. Промышленность – заводы точных производств и электронного оборудования, хранилища промтоваров, мастерские, заводы по производству стройматериалов, очистке сточных вод, утилизации и переработке бытовых и промышленных отходов.

3. Экология – хранилища обогатительных фабрик, хозяйственно-бытовых отходов, захоронение радиоактивных, химически и биологически вредных отходов, пород отвалов и терриконов, складирование неэкономичного в настоящее время сырья.

4. Социальная сфера – научные и лечебные центры, торговые комплексы, архивы, библиотеки, спорто сооружения, резервуары для хранения воды, размещение объектов гражданской обороны.

5. Аграрный сектор – овощеводство, выращивание грибов, цветоводство и садоводство, разведение рыбы, холодильники, хранилища пищевых продуктов.

При этом используются в новом функциональном качестве следующие подземные горные выработки:

1. Вертикальные стволы – элементы АЭС, ГАЭС, хранилища нефти и газа, технологический подход к другим подземным объектам

2. Штольни, камеры околоствольных дворов, капитальные горные выработки:

а) объекты промышленного назначения – заводы, склады;

б) объекты аграрного назначения – цветоводство, овощеводство, грибы, рыба, хранилища продуктов, холодильники;

в) объекты социальной сферы – архивы, хранилища, лечебные центры, объекты ГО;

г) экологического назначения – хранилища отходов;

³ Корчак А.В. Обоснование и разработка методологии проектирования строительства и повторного использования подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях. – Диссертация д.т.н. - МГГУ, 1998.

- д) подземные станции теплоснабжения, аккумуляции энергии.
- 3. Подготовительные выработки – размещение отвалов, отходов.
- 4. Очистные выработки – размещение отвалов.

Также известна классификация основных направлений использования подземного пространства В.А.Умнова⁴:

1. В горном деле
 - а) разрушение, извлечение и хранение в массиве полезных ископаемых;
 - б) перемещение людей, транспорт, подъём;
 - в) складские помещения;
 - г) помещения бытового назначения.
2. В городском строительстве
 - а) гаражи и автостоянки;
 - б) пешеходные и транспортные тоннели;
 - в) предприятия торговли и общественного питания;
 - г) коммунально-бытового обслуживания и связи;
 - д) объекты складского хозяйства, хранилища продуктов и предметов различного назначения;
 - е) культурные, спортивные, административные и промышленные сооружения;
 - ж) хранилища документации, культурных и финансовых ценностей;
 - з) жилые помещения и гостиницы.
3. В энергетике и нефтегазовой отрасли
 - а) подземные электростанции;
 - б) подземные аккумуляторы энергии;
 - в) хранилища для сжиженных газов и нефтепродуктов.
4. В аграрном секторе
 - а) холодильники;
 - б) фрукто-, овоще-, зернохранилища;
 - в) теплицы, оранжереи, грибницы;
 - г) винные заводы и винохранилища;
 - д) рыбные хозяйства.
5. На транспорте, тоннели
 - а) железнодорожные;
 - б) автомобильные;
 - в) метрополитена;
 - г) судоходные.
6. В оборонной промышленности и военном деле
 - а) заводы и фабрики;
 - б) военные объекты;
 - в) сооружения гражданской обороны.
7. В науке – научно-исследовательские лаборатории.
8. В медицине – лечебницы.

⁴ Умнов В.А. Экономическая оценка и рациональное использование ресурсов подземного пространства. - М.: изд. МГУ, 1999. - 204 с.

9. В других отраслях

- а) хранилища радиоактивных, токсичных и иных отходов;
- б) хранилища неиспаряемых водных ресурсов;
- в) экологически вредные или опасные объекты;
- г) промышленные объекты;
- д) складские хозяйства.

Другой вариант классификации осваиваемых пустот, авторский, приведён в таблице 1.1. Как видно из этой классификации, главное значение в выборе варианта использования пустот имеет **геомеханический аспект обоснования их устойчивости**.

Таблица 1.1

Классификация осваиваемых подземных пустот

1. По назначению
а) промышленные: заводы и лаборатории, энергетические установки, обогатительные фабрики, ёмкости-перколяторы ⁵ ...
б) сельскохозяйственные: хранилища пищевых запасов, силосные ямы, выращивание грибов (вешенка, шампиньоны), разведение форели ...
в) оборонные: заводы, укрытия для людей и техники, пусковые ракетные установки, аэродромы...
г) хранилища и могильники: <ul style="list-style-type: none">- хранилища нефти, газа и других стратегических запасов, резервуары для забалансовой руды и хвостов обогащения;- могильники бытовых, токсичных, химических и радиоактивных отходов;
д) культурологические: подземные торговые и бизнес центры, гаражи, убежища, музеи, транспортные магистрали, инженерные коммуникации...
е) медицинские: гала-спелео-терапия в солях, радоновые ванны...
2. По продолжительности использования пустот
а) долговременные, более 50 лет;
б) средней продолжительности, 20-50 лет;
в) малой продолжительности, менее 20 лет.
3. По значимости
(по аналогии с категориями охраны горных выработок и поверхностных сооружений)

⁵ **Перколяция** – просачивание раствора через значительный слой раздробленной руды, используется при кучном выщелачивании и при обогащении при скорости просачивания от 2 до 8 см/час. **Перколяторы** – специальные чаны с подающим рабочий раствор и отводящим продуктивный раствор трубопроводом.

<p>а) высшая категория охраны, не допускает никаких деформаций полости; б) средняя, допускает малые деформации стенок, кровли и почвы полости ; в) малая, допускает деформации.</p>
<p>4. По местоположению</p>
<p>а) в городских условиях, например, катакомбы; б) в сельской местности, например, естественные пещеры; в) на заброшенных шахтах и рудниках; г) на действующих шахтах и рудниках.</p>
<p>5. По технологии поддержания устойчивости пустот</p>
<p>а) естественное поддержание; б) полости, постоянно заполненные материалом (хранилища, могильники, перколяторы); в) крепление кровли, стенок и почвы полости; г) управление несущей способностью горного массива: разгрузка напряжённых зон массива, инъецирование 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>
<p>6. По масштабности, разветвлённости и глубине расположения</p>
<p>а) малые пустоты с широкой разветвлённостью на небольшой глубине; б) средних и больших размеров пустоты, изолированные друг от друга, на средней глубине; в) средних и больших размеров пустоты, никак не связанные друг с другом, на большой глубине.</p>

Какие бы наземные конструкции не возводились человеком, в том числе защитные, их прочность не может сравниться с прочностью, защитными свойствами скальных пород. В среднем предел прочности пород на растяжение в 1,5-2 раза, а на сжатие в 4-5 раз превышает аналогичные характеристики для бетона.

Размещение под землёй некоторых производств обеспечивает им не только защиту, но и постоянство производственно-комфортабельных условий: температуры, влажности, запылённости, отсутствия внешних шумов и вибраций... Эти качества особенно целесообразны для высокоточных производств, высоких технологий. Мировой опыт по подземным заводам свидетельствует, что здесь на 18-20% выше не только качество продукции, но и производительность труда.

Рассмотрим возможные инженерные методы подготовки массива к повторному использованию недр:

1. Длительное или временное изменение физико-механических свойств породного массива:

- а) замораживание;
 - б) кессон;
 - в) водопонижение;
 - г) тампонирующее;
 - д) инъектирование.
2. Возведение временных или постоянных строительных конструкций:
- а) шпунтовые сооружения;
 - б) опускные сооружения;
 - в) «стена в грунте»
 - г) авторские опорные конструкции типа «этажерка» и «шатёр».
3. Изменение НДС массива.
- а) активная разгрузка с последующим упрочнением;
 - б) разгрузка скважинами, щелями, камуфлетным взрыванием;
 - в) уплотнение пород взрывом;
 - г) жёсткие и податливые естественные и искусственные целики;
 - д) анкерное крепление;
 - е) крепь регулируемого сопротивления (податливая);
 - ж) инъекционная крепь.

В настоящей работе выше приведён комплекс инженерных методов расчёта параметров устойчивости обнажений искусственного и породного массивов, искусственных полостей в целом, напряжений, деформаций и сдвижений во вмещающем массиве пород, разработаны конструкции опорных сооружений с расчётом типовых элементов. **Все эти наработки могут быть использованы для оценки размеров подземных сооружений и продолжительности устойчивого их состояния** – пример выбора технологии добычи руды с последующим использованием подземного пространства для месторождения «Юбилейное» приведён в Приложении 4 настоящей работы (**локальный проект**).

Универсальная авторская методология выбора параметров выработок приведена в § 4 главы 6. При этом алгоритм проектирования повторного использования подземного пространства может основываться на следующих методиках:

- 1) методика оценки фактического состояния массива горных пород, его свойств;
- 2) методика определения геометрических параметров горных выработок и прогноза НДС горного массива;
- 3) методика прогноза сдвижений в массиве;
- 4) методика определения тепловых, влажностных, вентиляционных, световых, фильтрационных характеристик массива;
- 5) методика экономической оценки эффективности повторного использования;
- 6) методики экологической и социальной оценки целесообразности использования пустот.

Для оценки же состояния и поддержания устойчивости геосистемы (массив-полость) и подземных технологических горных сооружений может быть использована структурная схема, предложенная Корчаком А.В.:

1. Первичный контур

- исходная инженерно-геологическая информация;
- проектные решения;
- целевая функция;
- предварительный прогноз состояния;
- корректировка проектных решений;
- проектное управляющее воздействие.

2. Вторичный контур

- наблюдения за состоянием массива;
- прогноз состояния;
- оценка прогнозируемого состояния;
- оценка фактического состояния;
- корректирующее управляющее воздействие.

§ 2. Варианты использования подземных полостей в устойчивых камерах

Исследуем возможности использования подземных полостей в устойчивых камерах.

1. Гарантией геозкологической безопасности **подземных атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС)** является устойчивость геологической среды, обеспеченная¹:

- сейсмической и геодинамической стабильностью района, отсутствием тектонических разломов и трещин;
- стабильностью гидрогеологического режима подземных и грунтовых вод;
- стабильностью физико-механических свойств горных пород и их устойчивостью к внешним воздействиям – вибрации, фильтрации вод и др.

Для размещения ПАТЭС с могильником радиоактивных отходов (РАО) наиболее приемлемы необводнённые слабопроницаемые горные породы (скальные массивы, глины и соли), которые возможно, в случае необходимости, укрепить пространственными несущими конструкциями.

Скальные массивы должны быть сложены породами с пределом прочности пород на сжатие более 100 МПа и на растяжение более 10 МПа, при этом трещиноватость пород должна быть минимальна, а напряжения в массиве не должны превышать 50 МПа, т.е. составлять 50% от прочности пород на сжатие.

Типовые проекты института Атомэнергопроект предусматривают чаще горизонтальные, реже вертикальные камеры-капсулы диаметром 59 м и высотой 90 м - для реактора ВВЭР-1000, а также диаметром 45,2 м и высотой 81 м – для реактора АСТ-500. Такие размеры чрезмерны, поэтому во ВНИПИПромтехнологии были разработаны предложения по размещению на глубине 150-200 м от земной поверхности ПАТЭС мощностью 300 МВт с 4 атомными энергомодулями в шахте диаметром 13 м с несколькими камерами, самая большая из которых, центральная, имеет диаметр 30 м и высоту 20 м, а четыре периферийных имеют сечение 12х18 м длиной 45 м (рис. 2.1).

¹ а) Котенко Е.А. Горное дело и атомная энергетика. - М.: мзд. МГГУ, 2001. - 197 с.; б) Котенко Е.А. Разработки горно-технологического отдела в условиях конверсии (рекламно-информационный проспект). - М., изд. ВНИПИПромтехнологии, 1992. - 39 с.

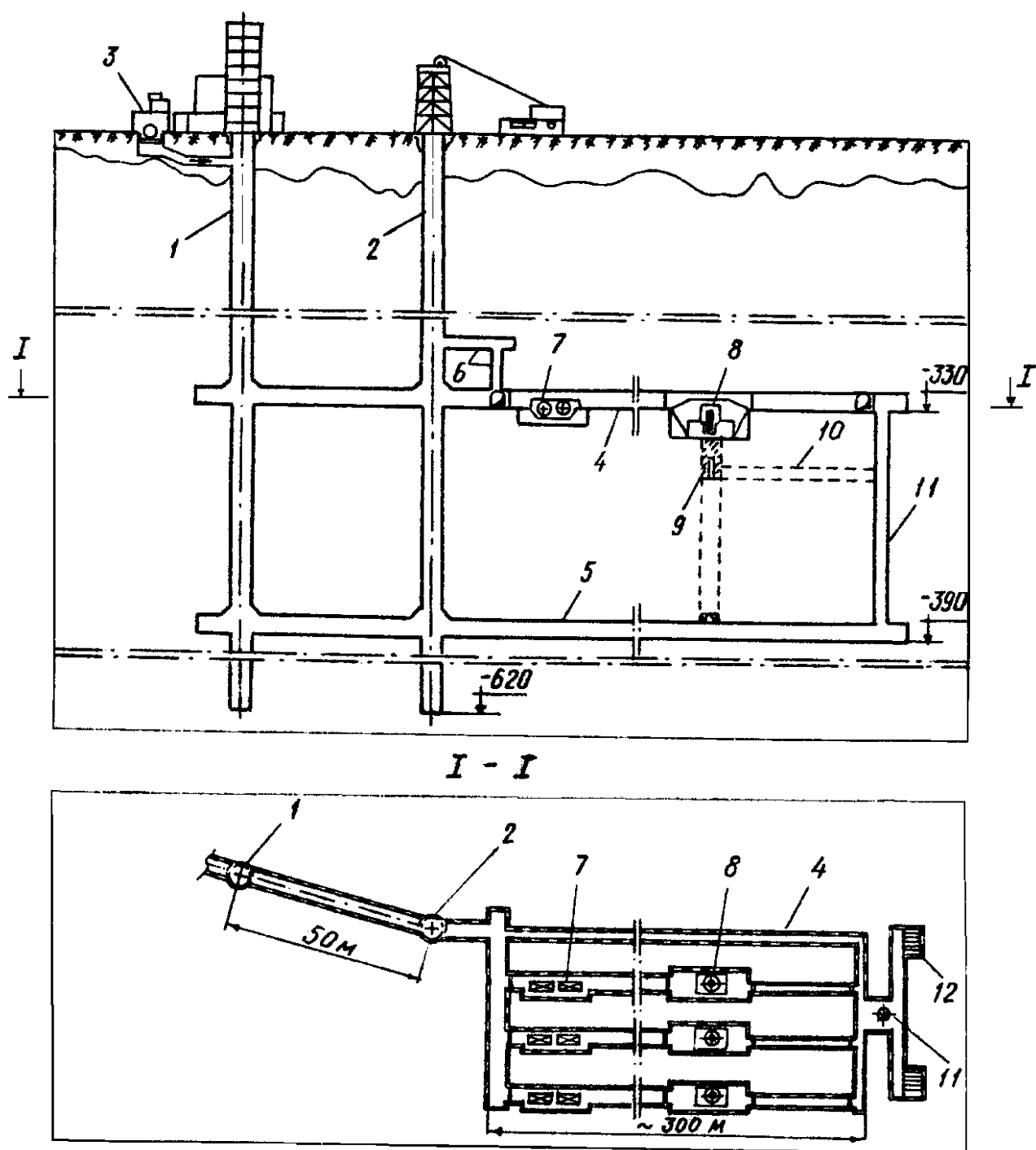


Рис. 2.1. Проект размещения ПЭС мощностью 1320 МВт (три ядерных реактора ВВР-440) с могильником РАО в подземных горных выработках одного из закрывающихся в результате конверсии урановых рудников:

1 и 2 – стволы диаметром 6 м, глубиной 620 м (расстояние между стволами 50 м); 3 – вентиляционная установка; 4 – первый горизонт (-330 м); 5 – второй горизонт (-390 м); 6 – камера эвакуации; 7 – камера турбогенерационной установки; 8 – реактор; 9 – захороненный реактор; 10 – водосборник; 11 – восстающий; 12 – хранилище РАО

2. Подземные хранилища РАО и токсичных отходов могут сооружаться двумя способами.

Традиционный способ, принятый в национальных программах захоронения США, Канады, Швеции, Швейцарии и России предусматривает «щадящую» технологию проходки выработок щитами или тоннелепроходческими комплексами для обеспечения минимального нарушения естественного состояния горного массива, например, так сооружено действующее в Швеции хранилище «Форсмарк» на глубине 65 м под дном Балтийского моря. Выработки имеют ширину 14,5, 15 и 20 м, высоту 9,5, 12,5 и 16,5 м, длина каждой камеры 160 м. Камеры закреплены анкерами (длина 3,85 м, диаметр 25 мм) по сетке 2х2 м и набрызгбетоном.

Другой способ предусматривает полную изоляцию могильника за счёт сооружения вокруг него в горном массиве защитной экранирующей щели, заполненной водонепроницаемым материалом, примером служит шведский проект WP-SAWA. Три ёмкости-колбы каждая диаметром 40 м и высотой около 150 м заполняются шарами диаметром 3,6 м с отработанным топливом, а щель-оболочка имеет ширину 5 м, заполняется кварцевым песком с бентонитовой глиной, расширяющейся при смачивании водой.

Избавление от отходов в общем случае возможно следующим путём²:

- совершенствования технологий с минимизацией получаемых объёмов отходов;
- переработки отходов с переводом их в нетоксичную форму;
- надёжного подземного захоронения отходов.

Виды отходов горнометаллургического цикла приведены в табл. 2.1. В табл. 2.2 и 2.3 приведены условия размещения высокотоксичных отходов.

В настоящее время известен ряд технологий для надёжной изоляции и захоронения отходов:

- хранение отходов в специальных сооружениях наземного и слабоуглублённого типа;
- захоронение отходов в специальных подземных сооружениях;
- размещение отходов в глубоких океанических впадинах с застойными режимами перемещения вод;
- физическое и химическое преобразование отходов в нейтральные продукты;
- размещение отходов в мощных толщах материковых льдов;
- выброс особо опасных отходов с помощью ракет в космическое пространство.

Изоляция отходов в геологических формациях является естественным природным процессом, ведь, например, залежи угля, нефти, газа, фосфоритов, известняков – и являются естественным захоронением и преобразованием отходов за миллионы лет.

² Шишиц И.Ю. Основы инженерной георадиоэкологии. – М.: изд. МГГУ, 1998. - 716 с.

Таблица 2.1

Виды отходов горнометаллургического цикла

Фазовая характеристика отходов	Добыча			Обогащение		Металлургический передел	
	Открытая	Подземная	Гео-технологическая	Гравитационное, магнитное, электрическое	Флотационное	Гидро-металлургическое	Термо-металлургия
Твёрдые	Вскрышные породы	Пустые породы	-	Хвосты	Хвосты	Осадки	Хвосты
Жидкие	-	Шахтные воды	Раствор	Промывочная вода, шлам	Шлам, пульпа	Солевой раствор	Охлаждающая вода
Пылегазовые	Пыль	Метан, рудничный воздух	-	-	Отсос воздуха	Пар	Газы, пыль

Таблица 2.2

Характеристика скальных массивов, пригодных для размещения могильников высокоактивных отходов

Массив пород	Основные преимущества	Основные недостатки	Примечание
Базальты и граниты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая плотность и прочность 2. Практически водонепроницаемы (в монолите) 3. Высокая химическая стойкость 4. Средняя теплопроводность 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Структурные дефекты (разломы, трещины) способствуют свободной циркуляции воды 2. Низкие сорбционные свойства 	Мощные и плотные монолитные массивы могут быть использованы для размещения любых могильников

Критерии оценки пригодных территорий для размещения могильников отходов в магматических породах

Уровень пригодности	Критерии оценки						
	Тектонические элементы	Морфология	Породы вмещающей толщи	Глубина залегания, м	Мощность толщи до поверхности, м	Гидрогеология	Сейсмичность по шкале MSK-64
Потенциально пригодные	Платформы, щиты, орогены	Батолиты, крупные лакколиты, штоки	Граниты, градиориты, сиениты	Более 1000	Более 1000	Зона замедленного и крайне замедленного водообмена	Менее 5
		Эффузивные покровы, интрузии, массивы метаморфизованных пород	Кварцевые порфиры, порфириты, базальты, туфы, андезиты, габбро, гнейсы, кварциты	Более 300	Более 500		
Ограниченно пригодные	Платформы, щиты, древние орогены	Интрузии, покровы, массивы метаморфизованных пород	Габбро, дуниты, базальты, кварциты, сланцы, гнейсы	Более 300	Более 1000	Зона замедленного водообмена	Менее 7
Практически непригодные	Молодые орогены	Дайки, жлы, штоки, покровы, массивы метаморфизованных пород	Габбро, дуниты, основные эффузивы, амфоболиты, гнейсы, сланцы	Более 1000	Менее 1000	Все гидрогеологические зоны	Более 7

Изолирующие свойства геологических формаций хорошо известны и поддерживаются многовековым существованием месторождений многих токсичных минералов и флюидов – свинцовых, ртутных, цинковых, оловянных, радиоактивных руд, серы, газов, нефти и т.д. Другим свойством геологических формаций является их способность к самозалечиванию существующих и вновь возникающих в их структуре дефектов, способность к сорбции химических элементов и их соединений на поверхности трещин, а также к метаморфизму под влиянием естественных процессов. В целом, хранилище и могильники не должны располагаться в тектонически нарушенных массивах с высокой проницаемостью пород и активным водообменом, кроме того, породы должны обладать высокой - прочностью, теплопроводностью, сорбционной способностью. В качестве примера захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях - в табл. 2.4 приведена характеристика гранитов и гнейсов и в табл. 2.5 - классификация основных типов подземных могильников и долговременных хранилищ радиоактивных отходов.

Таблица 2.4

Характеристика гранитов и гнейсов

Наименование	Значение
Физико-механические свойства	
Плотность	2,6-2,7 г/см ³
Прочность на сжатие	700-1900 кгс/см ²
Прочность на растяжение	120-300 кгс/см ²
Модуль упругости	(7-10)*10 ⁵ кгс/см ²
Коэффициент Пуассона	0,2-0,25
Теплопроводность	2,9-4,3 Вт/(см*град)
Удельная теплоёмкость	0,2-0,8 кДж/(кг*град)
Коэффициент линейного температурного расширения	(0,6-0,9)*10 ⁻⁵ 1/град
Геологическая характеристика	
Скорость эрозии	3*10 ⁻⁵ м/год
Сейсмическая активность	Не более 6 по шкале MSK-64
Мощность толщи	До 10-15 км
Расстояние до ближайшей активной структуры	Более 20 км
Вероятность развития трещин в зоне размещения отходов	10 ⁻¹² м/год
Гидрогеологические характеристики	
Размещение могильника ниже зоны свободного водообмена	-
Расстояние до ближайшей точки разгрузки	Более 2 км
Гидравлический уклон	0,01
Удельная ёмкость массы:	
- для гнейсов	1,1*10 ⁻⁵ м ³ /с*м
- для диоритов, габбро	2*10 ⁻⁴ м ³ /с*м

Зона развитой трещиноватости: - максимальная глубина	200 м
- проницаемость	$10^{-4} - 10^{-5}$ м/с
- кинематическая пористость	$5 \cdot 10^{-3}$
Зона скрытой трещиноватости: - проницаемость	10^{-7} м/с
- кинематическая пористость	10^{-3}
Зона сильного трещинообразования: - проницаемость	10^{-4} м/с
- кинематическая пористость	10^{-3}
Вмещающие породы: - проницаемость	10^{-10} м/с
- кинематическая пористость	10^{-4}
- расстояние до ближайшей скрытой трещины	Более 10 м
Характеристика подземных вод	
Окислительно-восстановительный потенциал:	0,2 - 1
- рН	8,0
- HCO_3	240 мг/л
Коэффициент распределения	Ni-0.32; S ₂ -0.16; Zr-3.2; Tc-0.05; Cs-0.064; J-0; Ce-10; Nd-10; Eu-10; Ra-0.5; Th-2.4; U-1.2; Np-1.2; Pu-0.3; Am-32

При захоронении отвержденных и твердых высокотоксичных и радиоактивных отходов в подземных сооружениях различного типа главной задачей является обеспечение их надежной изоляции на неопределенно долгое время, исчисляемое десятками тысяч лет и более. Поэтому при выборе площадок для строительства подземных могильников в целях надежной изоляции отходов должны решаться следующие вопросы геомеханики³:

- выбор площадки и блока пород, находящегося в "спокойном" геодинамическом режиме;
- оценка структурного строения выбранного участка с определением крупных и мелких тектонических нарушений;
- изучение механических свойств массива вмещающих пород с оценкой их прочностных, деформационных, теплофизических, других свойств, а также пористости и трещиноватости;
- определение уровня напряженного состояния массива пород, достигнутого в результате проходки выработок и под влиянием техногенных нагрузок;

³ Лопатин В.В., Камнев Е.Н., Рыбальченко А.И., Шишиц И.Ю. Размещение жидких и твердых отходов в земной коре. - Горный вестник, 1998, № 4. - с. 112-116.

- прогноз долговременной устойчивости подземных сооружений и налегающей толщи и установлением рейтинга выбираемых участков с учетом геомеханических признаков.

Классификация основных типов подземных могильников и долговременных хранилищ радиоактивных отходов

Тип сооружения	Отличительные характеристики ПМ, ДХ*	Типы горных пород	Назначение сооружения	Основные рекомендации
1. Подземные сооружения шахтного типа	Наличие шахтных стволов, транспортных, технологических и вентиляционных выработок	Скальные породы: граниты, гнейсы, порфириды, туфы, каменная соль	Централизованные ПМ и ДХ федерального или регионального назначения для захоронения ВАО, САО, ДТВС и ОТВС	Для долгоживущих ВАО, САО в твёрдом, фиксированном, упакованном виде с дополнительными искусственными барьерами в сухой геологической среде. Применение для короткоживущих САО, НАО нецелесообразно.
2. Специальные шахтные стволы, буровые скважины	Глубокие (до 1 км) шахтные стволы или скважины ($d \leq 1.5$ м), со специальным конструктивным оформлением, в том числе, с искусственным охлаждением		ПМ регионального назначения для захоронения ВАО и САО от деятельности радиохимических заводов	Для долгоживущих ВАО, САО в твёрдом, фиксированном, упакованном виде с дополнительными искусственными барьерами в сухой геологической среде, есть пространство для распространения тепла.

3. Штольни	Наличие выхода из выработки непосредственно на дневную поверхность, герметизация входов на участке размещения РАО	Скальные породы, в том числе, в условиях многолетне-мёрзлых пород Крайнего Севера	ПМ регионального назначения для захоронения твёрдых САО, НАО, перерабатываемых ТРО	Для короткоживущих САО и НАО в твёрдом упакованном виде. Для долгоживущих САО и НАО в твёрдом фиксированном, упакованном виде.
4. Заглубленные траншеи, котлованы. засыпаются горной массой на стадии консервации могильника	Отсутствие конструктивного обустройства непосредственно на земной поверхности. Создаются в основном на базе взрывных технологий		ПМ регионального назначения для захоронения твёрдых САО, совместное захоронение ТРО и ЖРО с их отверждением в рабочем объёме могильника	
5. Буровые скважины	Скважины ($d \leq 1$ м) глубиной до 200-300 м со специальным конструктивным оформлением устья		ПМ регионального назначения для захоронения ДТВС, САО и НАО, совместное захоронение ТРО и ЖРО с их отверждением в рабочем объёме могильника	

<p>6. Наземные или слабозаглубленные конструкции</p>	<p>Наличие конструктивного обустройства непосредственно на дневной поверхности. Для ПМ необходимы специальные элементы, конструкции и контейнеры с усиленными инженерными барьерами. Для ДХ необходимы соответствующие конструкции и оборудование для периодической замены хранимых РАО.</p>	<p>Различные типы глин, скальные породы</p>	<p>ДХ регионально-территориального назначения для длительного хранения переработанных ТРО и ЖРО, ОТВС</p>	<p>Для короткоживущих САО и НАО. Возможно в фиксированном и упакованном виде с дополнительными барьерами в сухих геологических средах.</p>
--	--	---	---	--

*ПМ – подземный могильник, ДХ – долговременное хранилище; РАО, ВАО, САО, НАО – радиоактивные, высоко-, средне- и низкоактивные отходы; ОТВС и ДТВС – отработавшие и дефектные тепловыделяющие сборки, ТРО и ЖРО – твёрдые и жидкие радиоактивные отходы

Для решения указанных задач необходимо проведение комплекса научно-исследовательских работ (схема подземной лаборатории приведена на рис. 2.2), который включает в себя:

- формирование банка данных о геологической среде на трех уровнях (региональном, районном и площадном), направленных на определение общих региональных структурно-тектонических условий и особое выявление геотектонических и геомеханических процессов, блокового строения и т.п.;
- геофизиологические исследования - высокочувствительная магнитная и электромагнитная съемки, радарное просвечивание, термосканирование, высокоразрешающие сейсмические и гравиметрические методы, акустические измерения, резистивиметрия, нейтронный каротаж, измерение скоростей распространения волн и др.;
- полный лабораторный комплекс стандартных механических, петрографических, геомеханических, теплофизических и иных исследований.

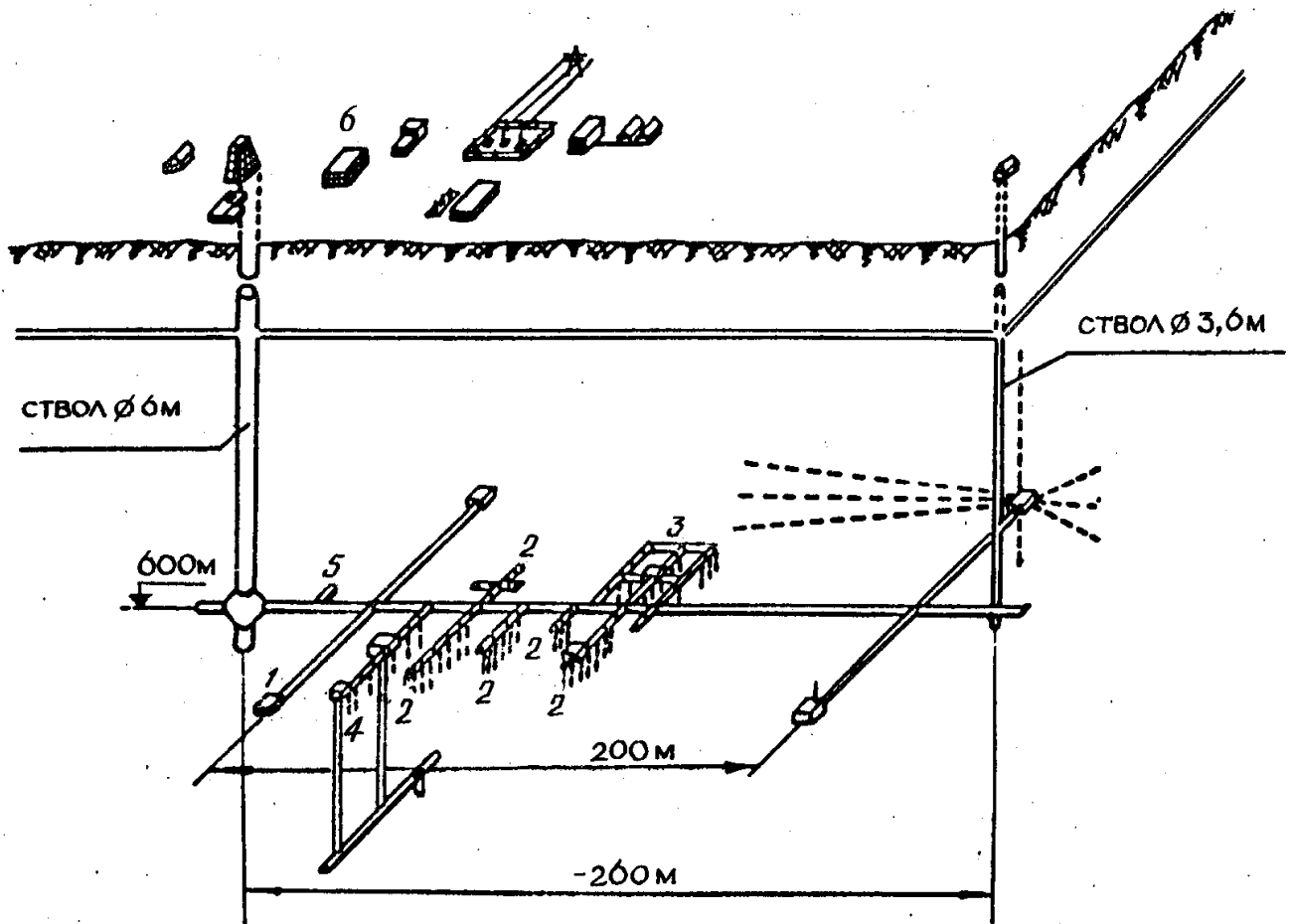


Рис. 2.2. Подземная лаборатория для изучения условий надёжного захоронения высокоактивных РАО:

- 1 – камеры для изучения горно-геологических и гидрогеологических условий; 2 - выработки для захоронения РАО и для изучения температурных воздействий; 3 – выработки для изучения проницаемости пород; 4 – выработки для изучения миграционных процессов и процессов теплообмена при обдуве РАО воздухом; 5 – пункт сбора и первичной обработки информации; 6 – наземный пункт управления экспериментами

Особая роль в этих исследованиях принадлежит обоснованному выбору тектонически стабильных зон земной коры. К ним относятся платформы и древние щиты. Метод поиска участков для размещения подземных могильников токсичных и радиоактивных отходов предполагает прежде всего выбор стабильных зон и блоков внутри них.

Геологически стабильный блок должен быть сложен прочными, слаботрешиноватыми породами, инертными к физическим воздействиям отходов, способными служить механическими и геомеханическими барьерами. Породы должны характеризоваться низкими значениями показателей водообмена и тектоническими напряжениями, близкими к гидростатическим.

Прогноз развития геологических процессов для участка горного массива должен основываться на принципах аналогий и общих закономерностях эволюции земной коры в пределах изучаемого района. В этих прогнозах фактор времени является определяющим и связан с оценкой уровня горного давления, развития температурных процессов и других факторов.

§ 3. Варианты использования подземного пространства в погашаемых камерах и в зонах обрушения

Выщелачивание в подземных камерах и в зонах обрушения

В сформировавшихся зонах обрушения, например, при использовании систем с обрушением руды и вмещающих пород, как правило, списывается в потери значительное количество полезного ископаемого, в то же время на земной поверхности находятся отвалы с забалансовой рудой, хвостохранилища. Как показывает опыт работы ПГХК, этой рудой или хвостами можно заполнять провалы поверхности и одновременно с отработкой оставшихся запасов приступать к выщелачиванию металла на верхних горизонтах¹ (рис. 3.1 и 3.2), по аналогии с кучным и подземным выщелачиванием (рис. 3.3 и 3.4).

Предварительно, исследованиями было установлено, что в ненарушенном горном массиве водопроницаемость пород (длина блока 120-150 м, ширина 30-40 м, высота 40-60 м) близка к нулю, в зонах тектонических нарушений водопоглощение составляет 0,4-2,3 л/час на 1 м² при среднем водопоглощении пород в днище блоков – 0,67 л/час на 1 м² поверхности.

Рудовмещающие породы представлены на месторождении «Юбилейное» окисленными фельзит-порфирами с коэффициентом крепости 8—12. Угол падения рудных тел 80—90°, мощность - от первых метров до первых десятков метров. Подготовка запасов включала проходку дренажных выработок под бывшим горизонтом выпуска². Продуктивные растворы из дренажных выработок перепускались в центральный растворосборник, расположенный на гор. III на небольшом удалении от рудного тела.

Обычно трещины 3 порядка (ширина раскрытия от десятков микрон до первых миллиметров) являются оперяющими по отношению к трещинам 2 порядка (ширина раскрытия от первых миллиметров до 2-3 см) и расположены к ним под углом порядка 45°. Поэтому ореол растекания раствора по трещинам не превышает 5-8 м, ведь проникновению раствора препятствуют взаимопересекающиеся трещины.

Для подачи выщелачивающих растворов по инфильтрационной схеме в зоны обрушения были сформированы оросительные системы на земной поверхности с производительностью 100 м³/час. Продуктивные растворы из центрального растворосборника ёмкостью 400 м³ подавались на поверхность для переработки на технологической установке, которая расположена на площадке комплекса КВ. Потери продуктивного раствора составили 3%, продолжительность закисления и выстаивания блока – 50 суток, интенсивность орошения – 15-17 л/м² в час, расход кислоты – 20 кг/т руды, извлечение урана в раствор - около 50% при содержании урана в растворе 60-80%, при этом под землёй был задействован лишь штат по обслуживанию насосной станции, а на поверхности – штат оросительной установки. Схема чередования активного орошения и вы-

¹ Котенко Е.А. Горное дело и атомная энергетика. - М.: изд. МГГУ, 2001. - 197 с.

² Кротков В.В., Лобанов Д.П., Нестеров Ю.В., Абдульманов И.Г. Горно-химическая технология добычи урана. - М.: изд. Геос, 2001. - 368 с. (с. 37, 52-58).

стаивания блока в течении 10-15 суток приводила к падению содержания урана в продуктивном растворе на 20-30% из-за частичного закрытия пор и трещин вторичными минеральными образованиями. При пульсирующей схеме подачи растворов, с интервалом орошения и выстаивания 2-3 часа, этот недостаток ликвидировался.

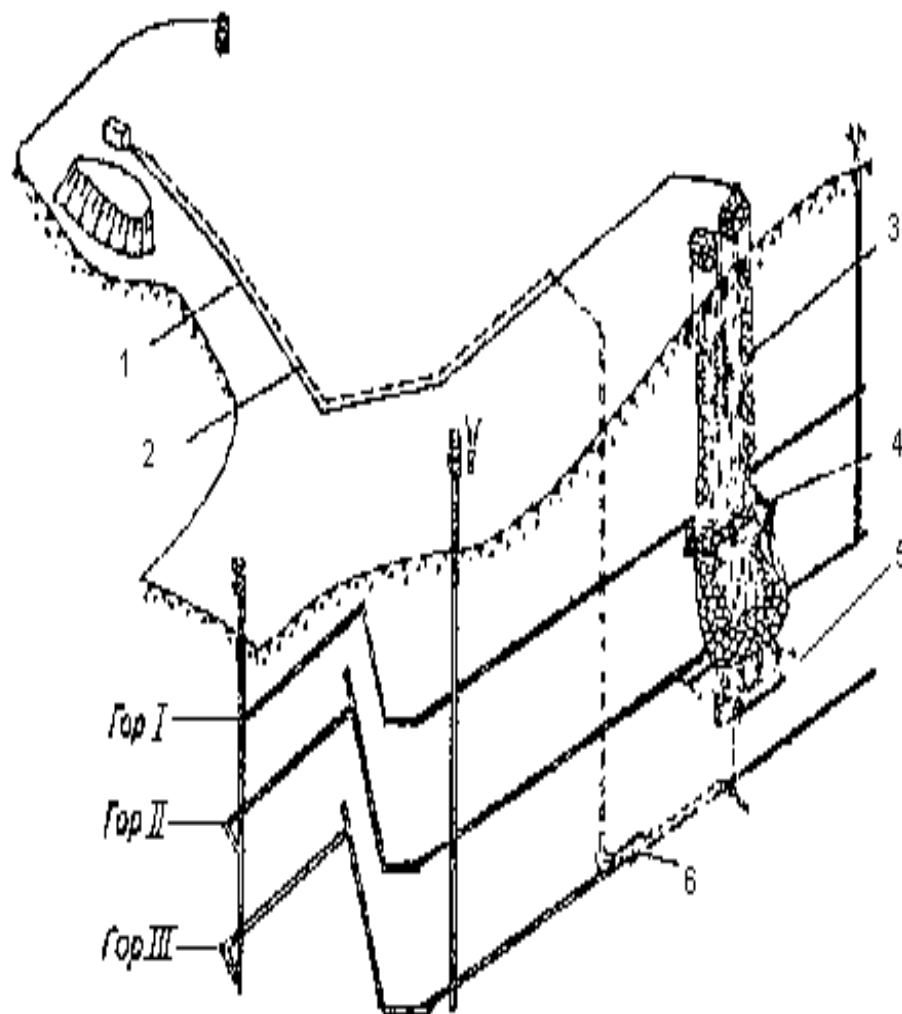


Рис. 3.1. Технологическая схема отработки забалансовой руды в зоне обрушения действующего рудника (месторождение Юбилейное ПГХК):

- 1 – рабочие растворы; 2 – продуктивные растворы; 3 – зона обрушения; 4 – горизонт орошения; 5 – дренажный горизонт; 6 – участковый растворосборник

В результате исследований были определены рациональная технология формирования штабеля, его параметры, объемы кучного выщелачивания и геотехнологические параметры, которые дали возможность с высокой рентабельностью извлекать металлы. В качестве растворителя используется совершенно безвредный, недефицитный реагент (концентрация серной кислоты - 10-15 г/л). После выщелачивания блок в течении 3-4 суток промывается маточниками

сорбции интенсивностью 30-35 м³/час, затем блок промывается шахтной водой ещё 15-20 суток.

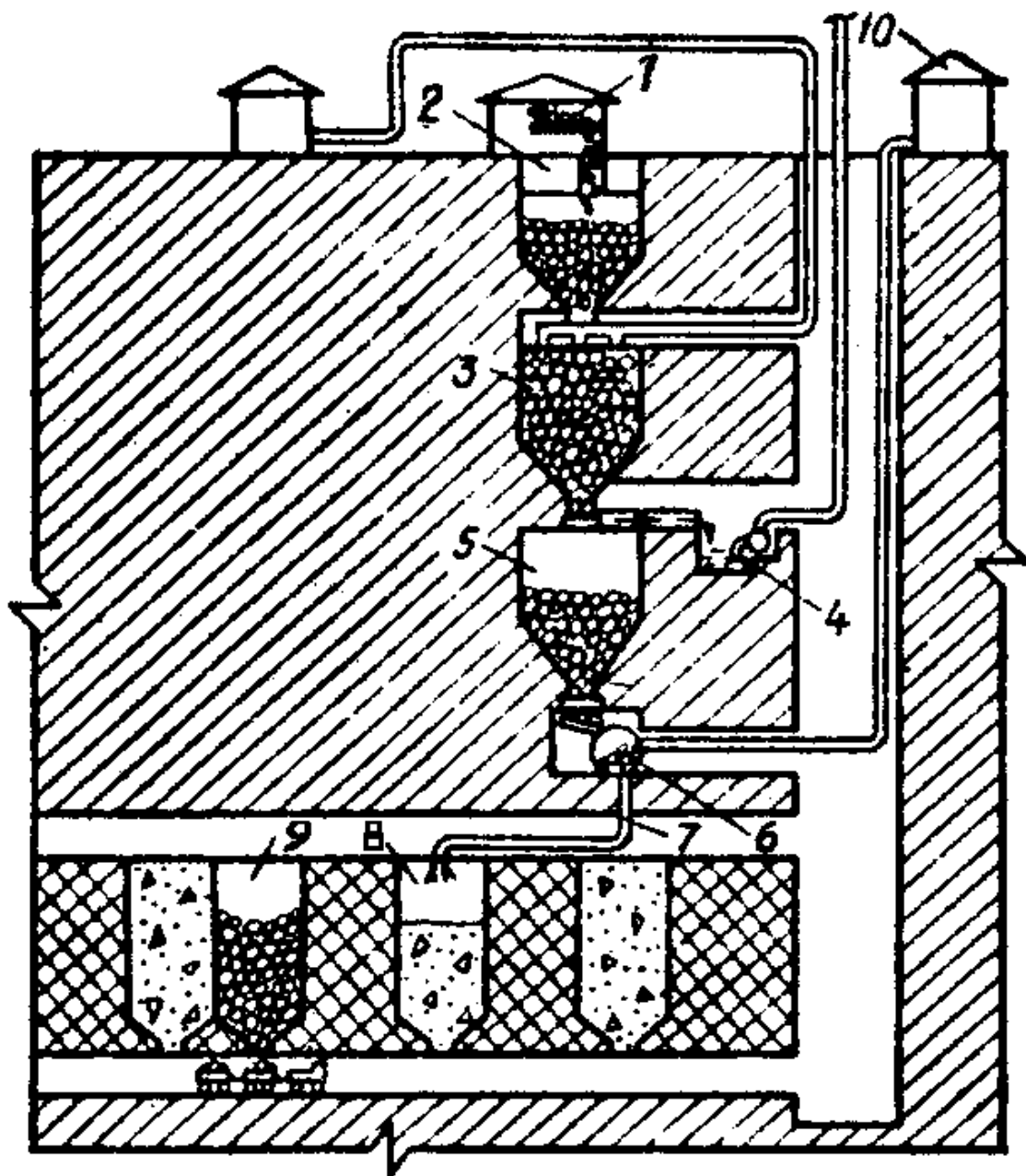


Рис. 3.2. Технологическая схема ступенчатого выщелачивания забалансовых руд в подземных камерах с использованием отходов – в закладку:
1 – РОФ кондиционной руды; 2 – бункер (камера-накопитель) хвостов обогащения и отсортированной забалансовой руды (камеры ранее отработанных блоков); 3 – камера выщелачивания забалансовых руд и хвостов РОФ; 4 – насосная станция для выдачи продуктивных растворов на-гора; 5 – камера хвостов выщелачивания; 6 – смесительно-дробильная установка; 7 – закладочный трубопровод; 8 – выработанное пространство очистных камер; 9 – очистная камера; 10 – закладочный комплекс

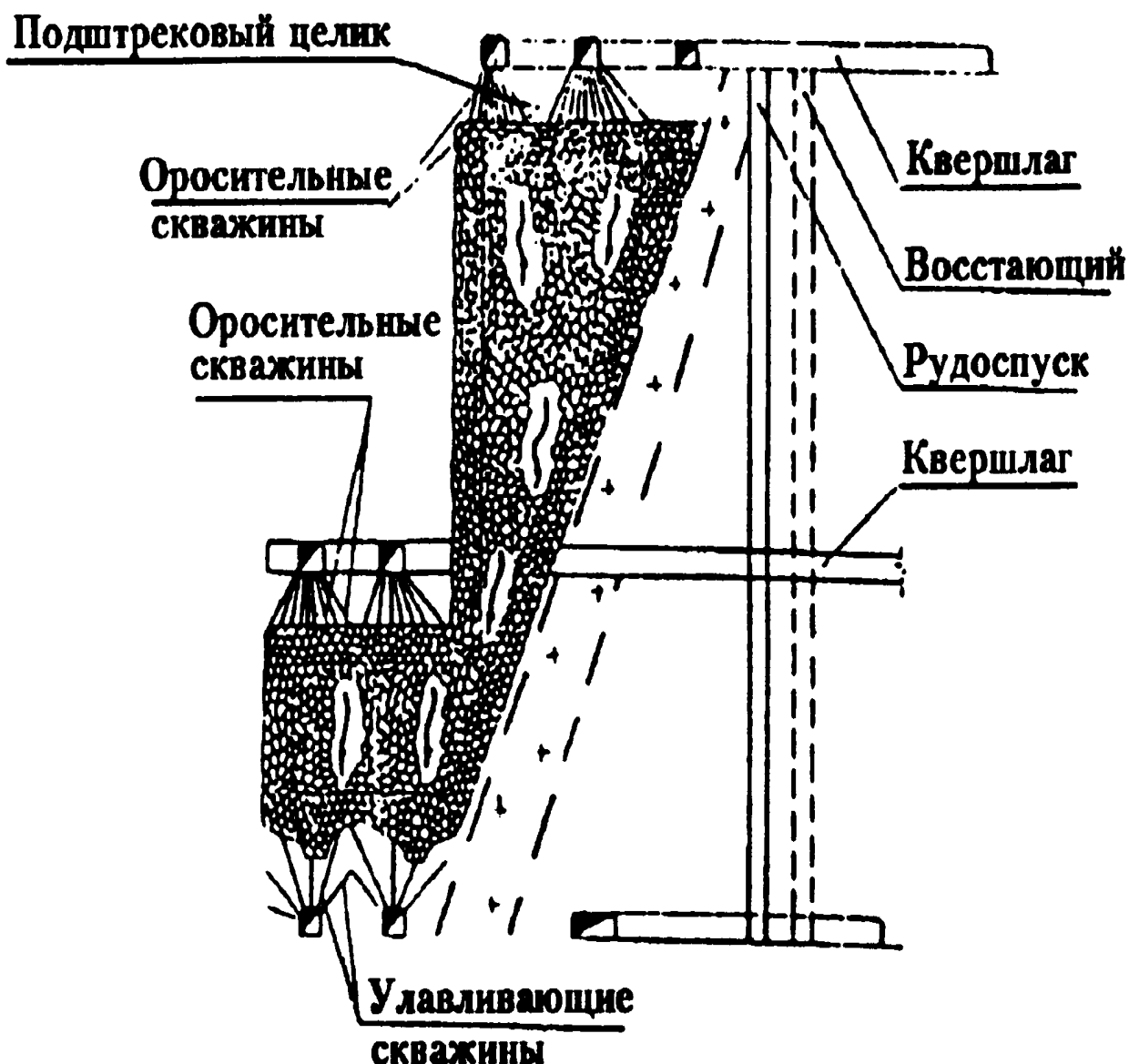


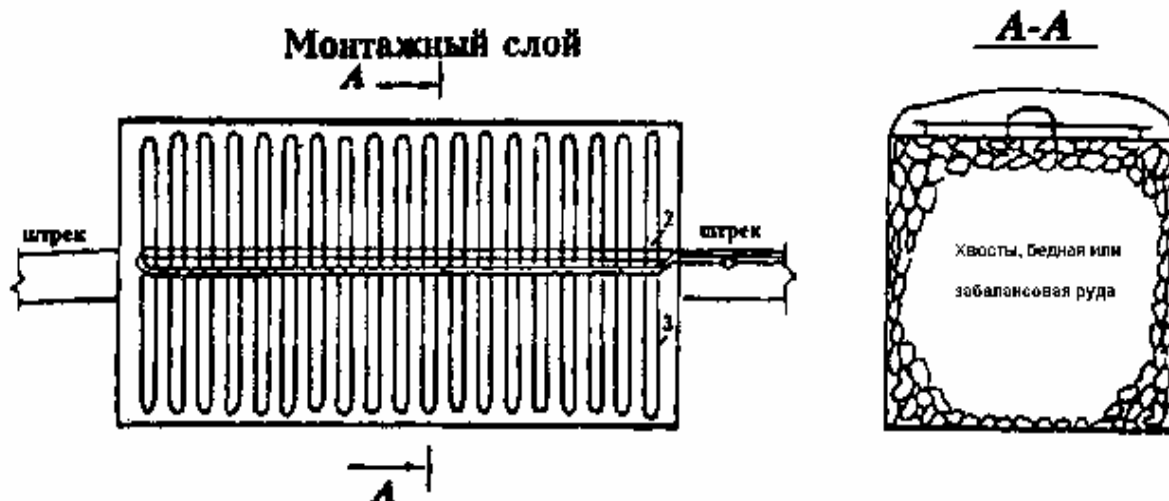
Рис. 3.3. Схема подачи выщелачивающего рабочего раствора и улавливания продуктивного раствора

Несмотря на высокую надёжность конструкции гидроизоляции днища (рис. 3.5), потери раствора всё же достигали 15-40% за счёт растекания по бортам и по трещинам, минуя гидроизоляционный слой. После дополнительных исследований³ было решено отказаться от оформления дорогостоящего гидроизоляционного слоя: весь закачиваемый в блок раствор перепускался на нижний горизонт и откачивался из депрессионной воронки на уровне трещинных

³ Кротков В.В., Лобанов Д.П., Нестеров Ю.В., Абдульманов И.Г. Горно-химическая технология добычи урана. - М.: изд. Геос, 2001. - 368 с. (с. 38-39).

вод. Улавливание таким способом продуктивного раствора, несмотря на высокое разубоживание его шахтными водами (до 40%), явилось более эффективным решением.

1 ВАРИАНТ



2 ВАРИАНТ

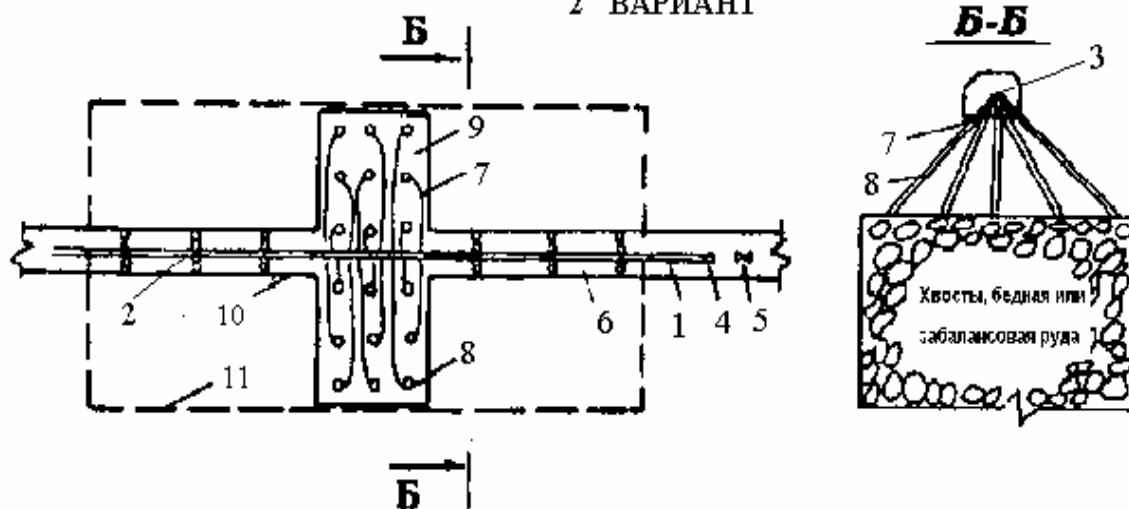


Рис. 3.4. Схемы подачи выщелачивающего раствора в камеру или в зону обрушения, заполненные хвостами, бедной или забалансовой рудой:
1 вариант – при полной и 2 вариант – при частичной подсечке монтажного слоя

1 – коллектор (полиэтилен, труба Ø100-125 мм); 2 – подпитывающий провод (полиэтилен Ø60-80 мм); 3 – ороситель (полиэтилен с отверстиями Ø30-40 мм); 4 – расходомер; 5 – задвижка; 6 – буровой штрек; 7 – полиэтиленовый патрубкок Ø8-12 мм; 8 – скважины орошения Ø100 мм; 9 – подсечка отрезной щели; 10 – буровой штрек; 11 – контур блока, камеры

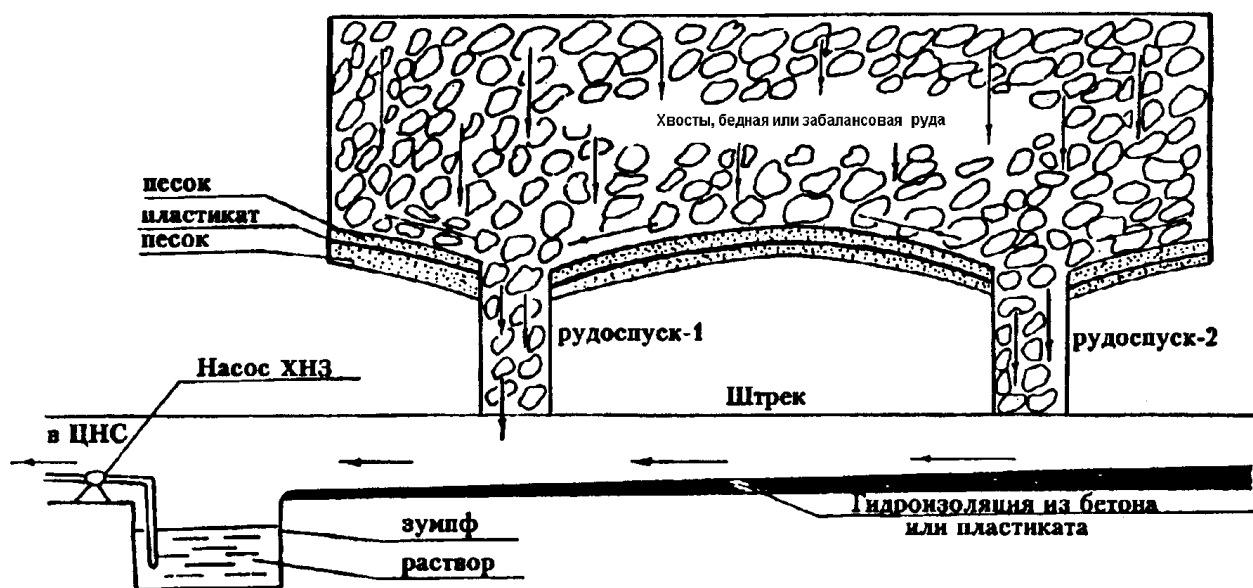


Рис. 3.5. Схема улавливания продуктивного раствора при выщелачивании хвостов, бедной или забалансовой руды в днище подземных камер

Для улавливания растворов на уровне трещинных вод бурились вкrest простираения рудных тел специальные дренажные скважины на глубину порядка 10-11 м от почвы выработки, с учётом угла растекания раствора (для трещиноватых пород он составляет 75°). Уровень трещинных вод находился под почвой выработок на глубине 2,8-4 м в зависимости от размеров камер в плане (рис. 3.6). В каждой дренажной скважине оборудовался всасывающий патрубок (на 1-2 м выше уровня забоя скважин), которые монтировались в сеть для мощных электровacuумных установок подъёма раствора производительностью не менее $6-8 \text{ м}^3/\text{час}$. Под каждым блоком монтировалось 4-5 электровacuумных насосов типа ХНЗ. Из центрального растворосборника ёмкостью 160 м^3 растворы насосами типа 8МСК откачивались по трубам из нержавеющей стали диаметром 133 мм на поверхность в химцех рудника для дальнейшей переработки.

Другой вариант снижения потерь продуктивного раствора заключается в создании в днище блока пневмобарьера за счёт подачи сжатого воздуха (импульсы высокого давления) в скважины, пробуренные перпендикулярно направлению преобладающих трещин из дренажного штрека до границ предполагаемого ореола растекания раствора (рис. 3.7).

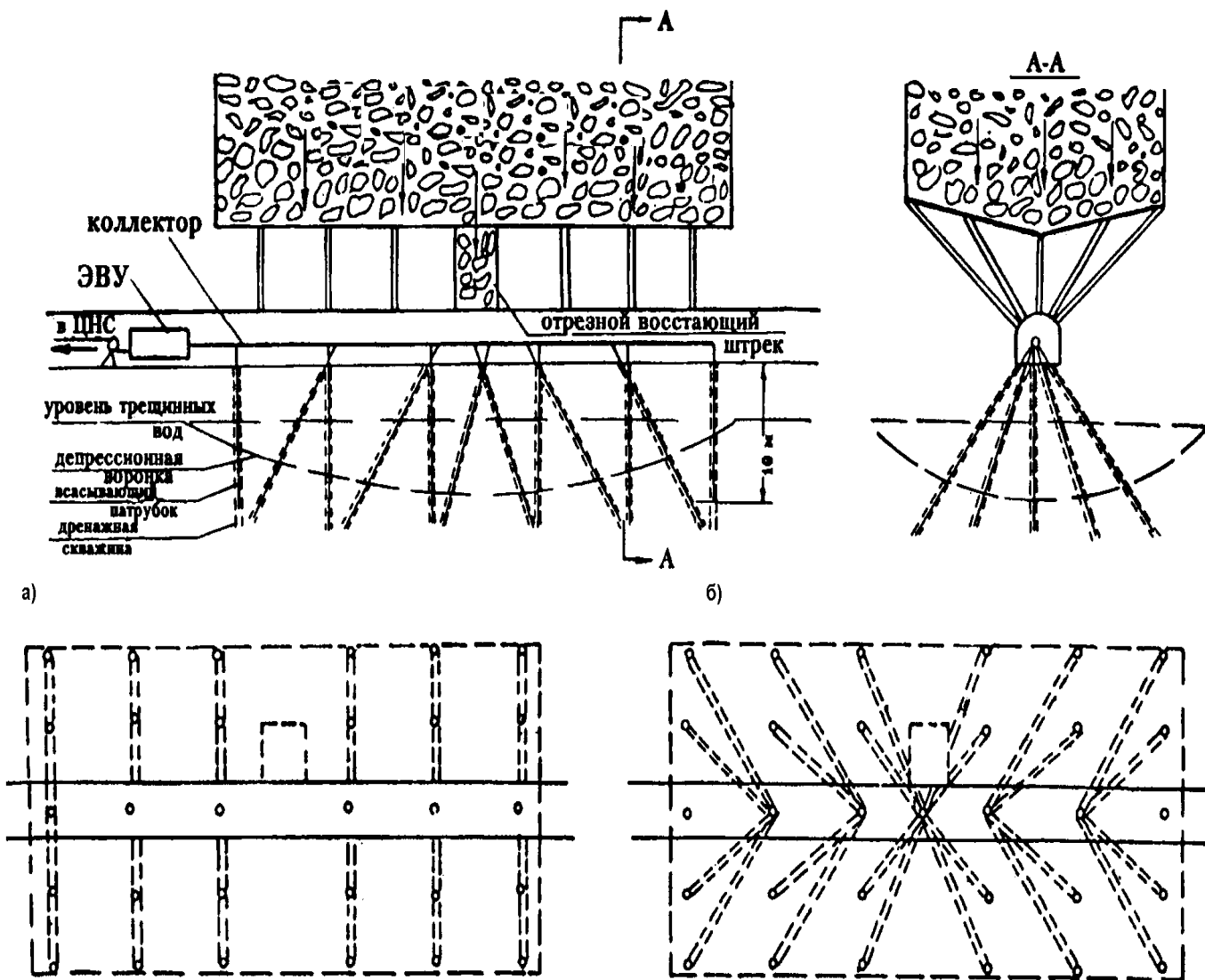


Рис. 3.6. Схема с двумя вариантами улавливания продуктивных растворов на уровне трещинных вод:

а – с линейным расположением дренажных скважин; б – с площадным расположением кустов дренажных скважин

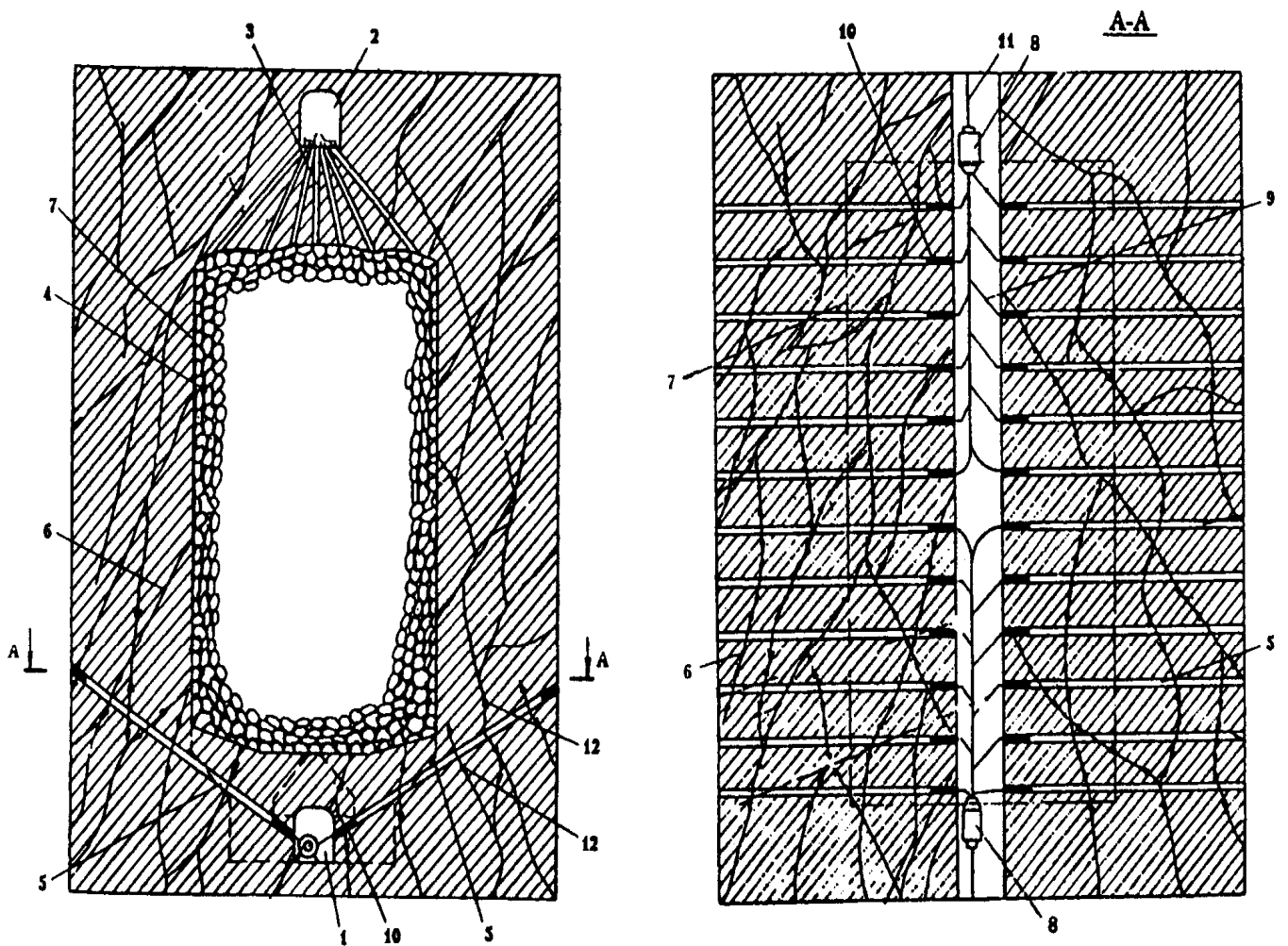


Рис. 3.7. Схема шахтного выщелачивания с использованием пневмобарьера
 1 – дренажный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – скважины подачи раствора; 4 – орошаемая замагазинированная руда; 5 – скважины пневмобарьера; 6 – трещины; 7 – контуры блока выщелачивания; 8 – пневмоимпульсные установки; 9 – пневмопривод; 10 – герметичный штуцер; 11 – общешахтная сеть сжатого воздуха; 12 - трещины

Погашение пустот сухой закладкой, отходами производства

На рисунках 3.8-3.11 приведены технологические схемы транспортировки сухой закладки или утилизируемых отходов с земной поверхности с дозакладкой камер и разгрузкой вагонеток над закладочной скважиной или породоспуском.

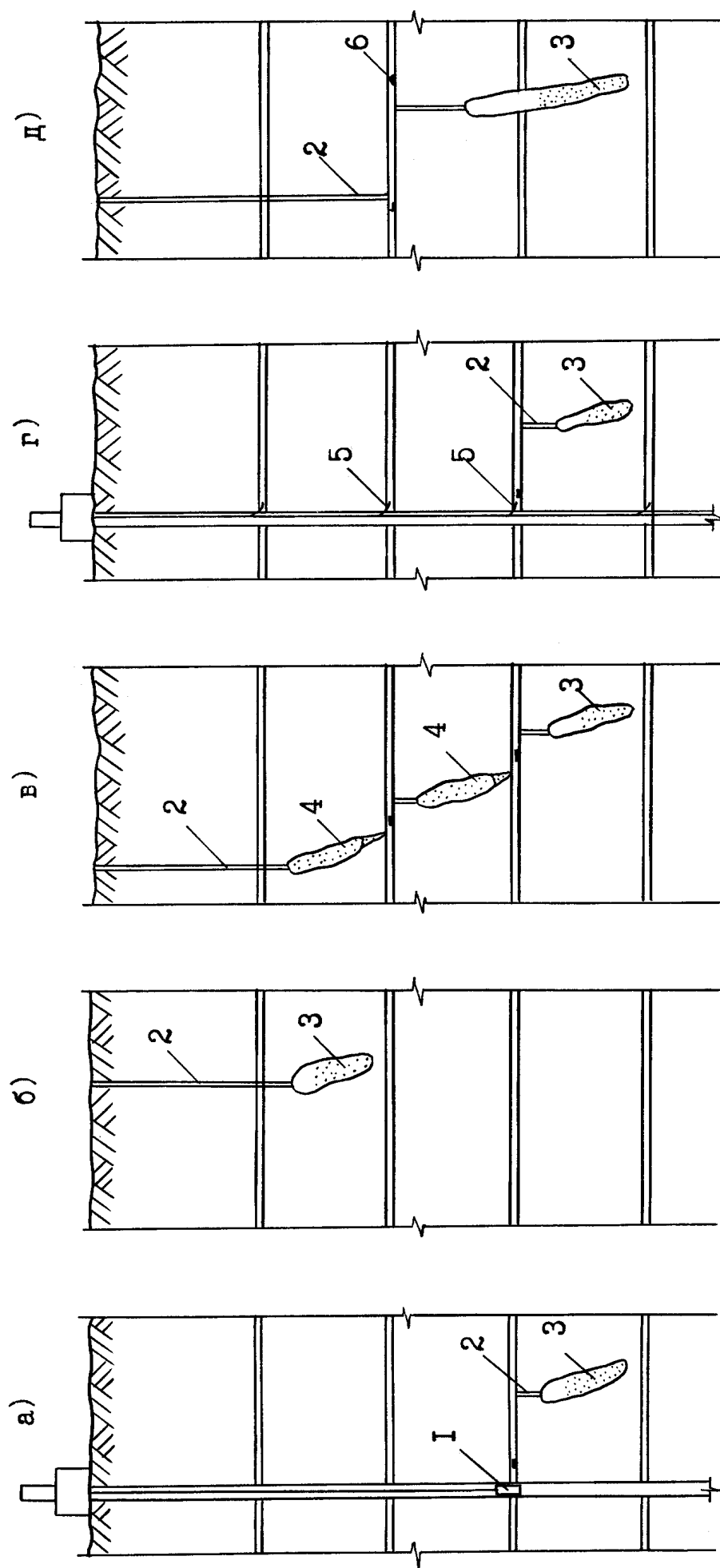


Рис. 3.8. Технологии транспортирования утилизируемых отходов в отработанных камерах:

а) вагонетками по стволу; б) скважинами (породоспусками) в камеру; в) скважинами (породоспусками) с использованием аккумулялирующих ёмкостей; г) по трубопроводу в стволе; д) скважинами (породоспусками) с транспортировкой по горизонту скрепером: 1 – клеть; 2 – скважина (породоспуск); 3 – погашаемая камера; 4 – аккумулялирующая камера; 5 – отвод на горизонт закладочного трубопровода; 6 – скреперная установка

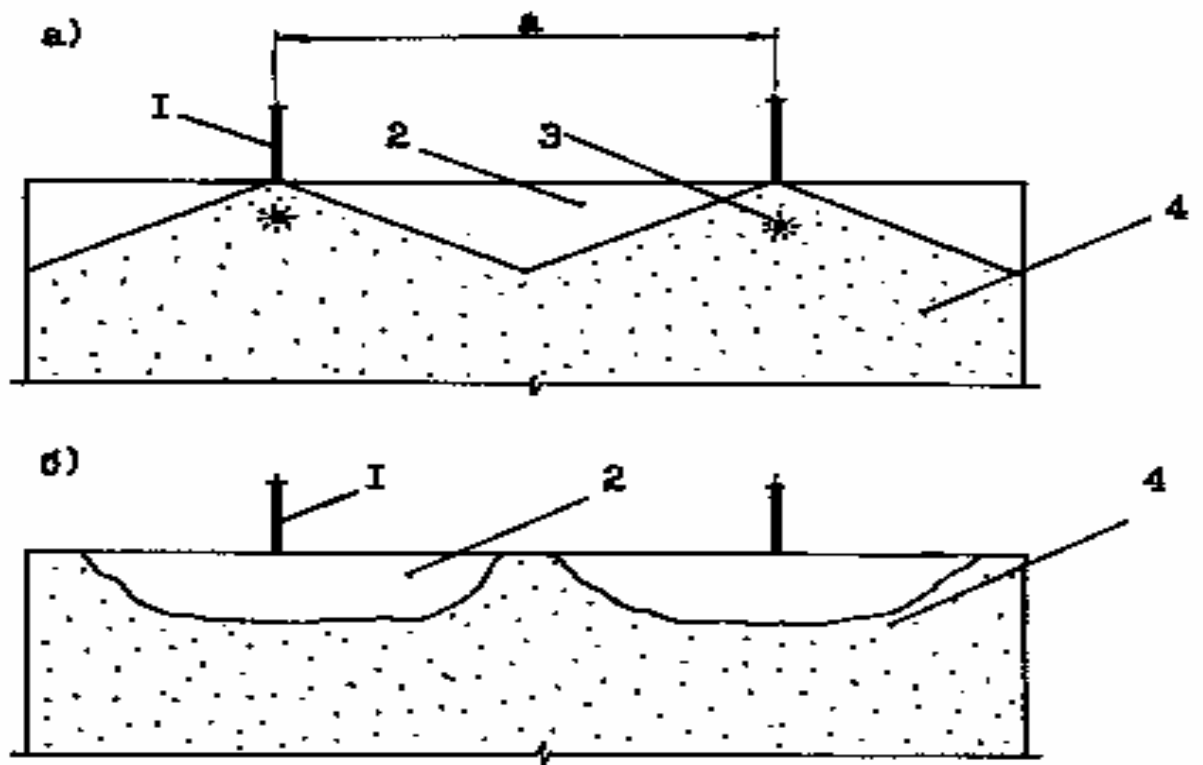
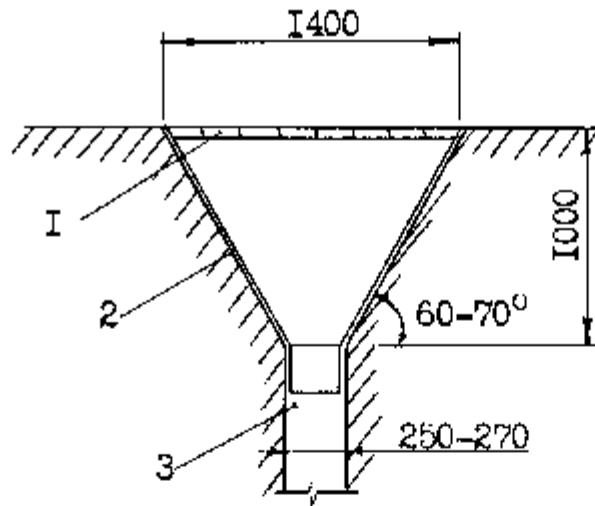


Рис. 3.9. Схема дозакладки камер :

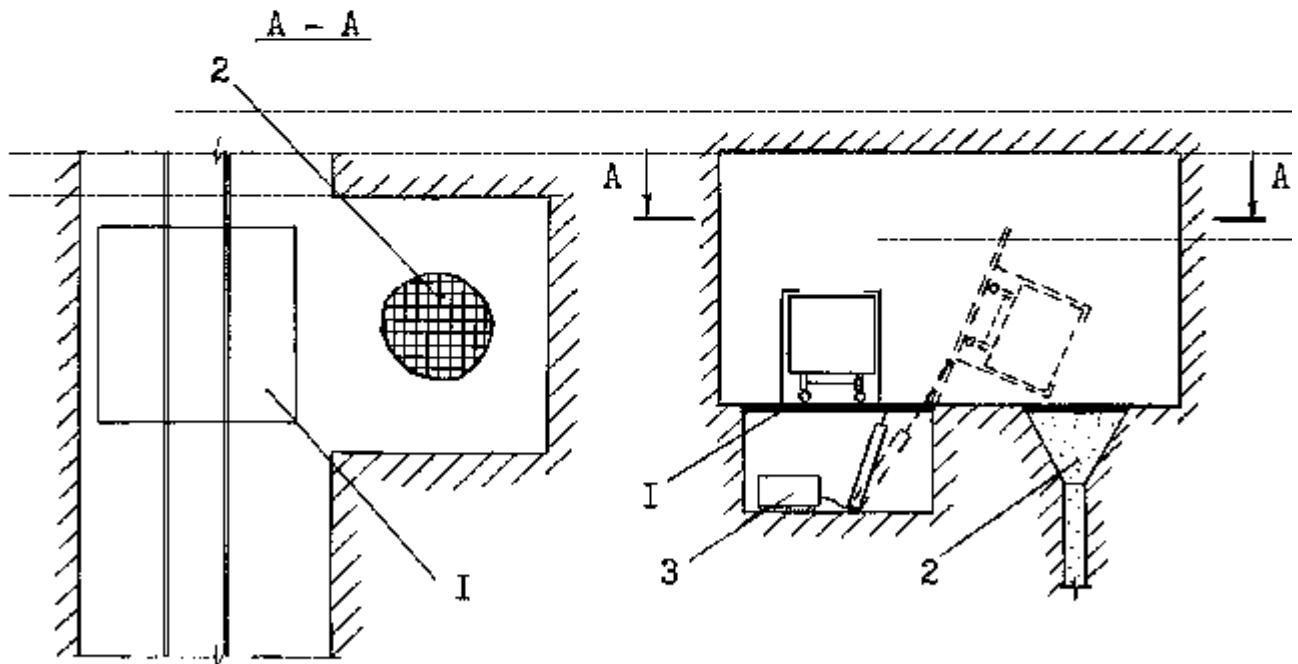
- а) положение закладки или утилизируемых отходов до взрыва ВВ;
 б) положение – после взрыва
 1 – скважина (породоспуск); 2 – незаложенное пространство камеры;
 3 – заряд ВВ; 4 закладка или утилизируемые отходы



3.10

Рис. 18. Схема оборудования устья закладочной скважины

- 1 - грохот с ячейкой 75x75 ;
- 2 - металлический кожух;
- 3 - закладочная скважина.



3.11

Рис. 19. Схема узла разгрузки вагонеток типа ВГ

- 1 - платформа-опрокид;
- 2 - устье закладочной скважины;
- 3 - гидропривод опрокида.

Утилизация пустых пород, забалансовых руд и других отходов производства перемещением закладочного материала в подземные пустоты под действием силы тяжести из вышележащих в нижележащие камеры с последующим заполнением выработанного пространства через концентрационные закладочные выработки, скважины или породоспуск (рис. 3.12). Такие условия имеются на горных предприятиях ВостГОКа. Другой вариант - отбойка и магазинирование руды под наносами, которые убираются на период отбойки и выпуска руды, после чего выработанное пространство частично закладывают твердеющей смесью, сверху восстанавливают рыхлые отложения (рис. 3.13). Потом производится выпуск замагазинированной руды под искусственной потолочной.

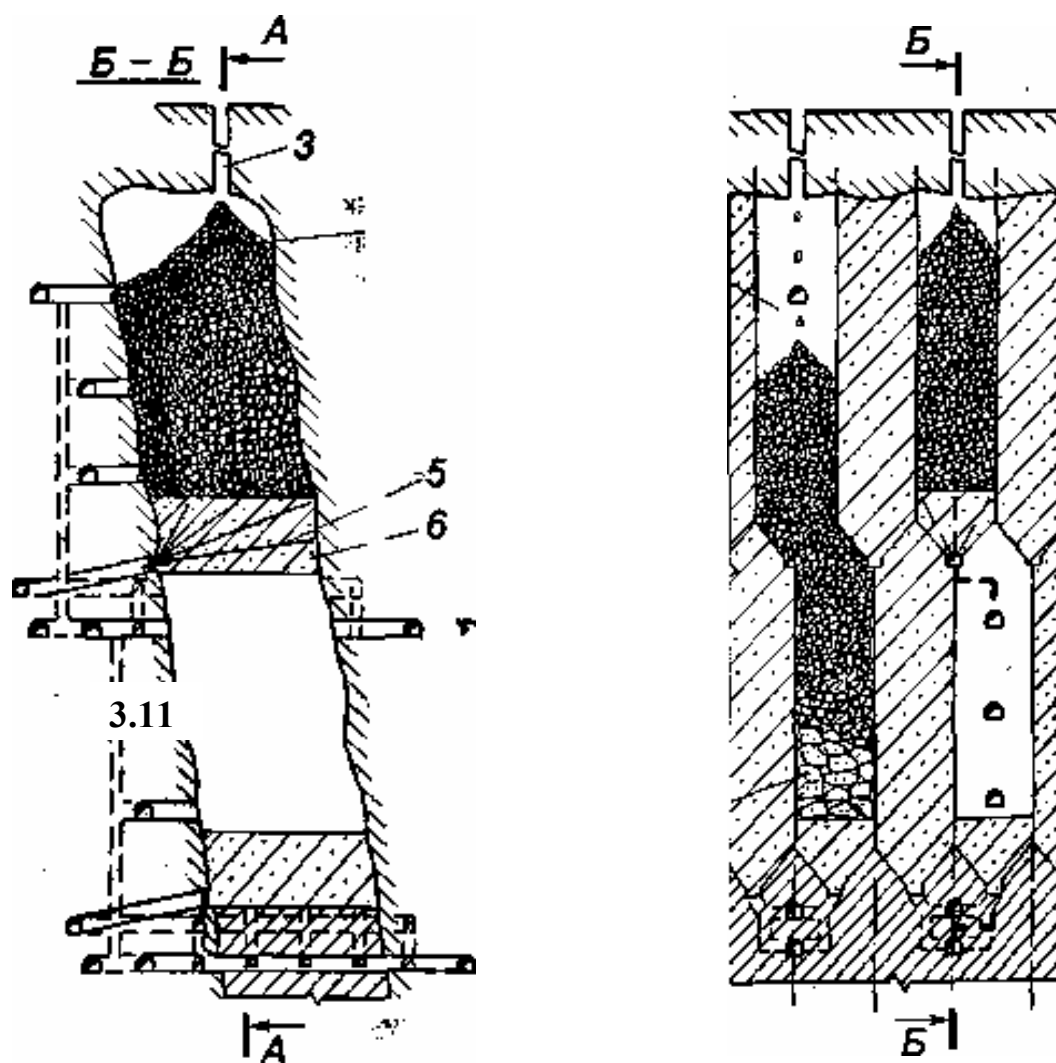


Рис. 3.12. Технология утилизации отходов в отработанных камерах:
 1 - искусственный разрушенный массив; 2 - камера; 3 - закладочная выработка (шурф); 4 - закладочный сыпучий материал; 5 - взрывные скважины;
 6 - упрочненный слой

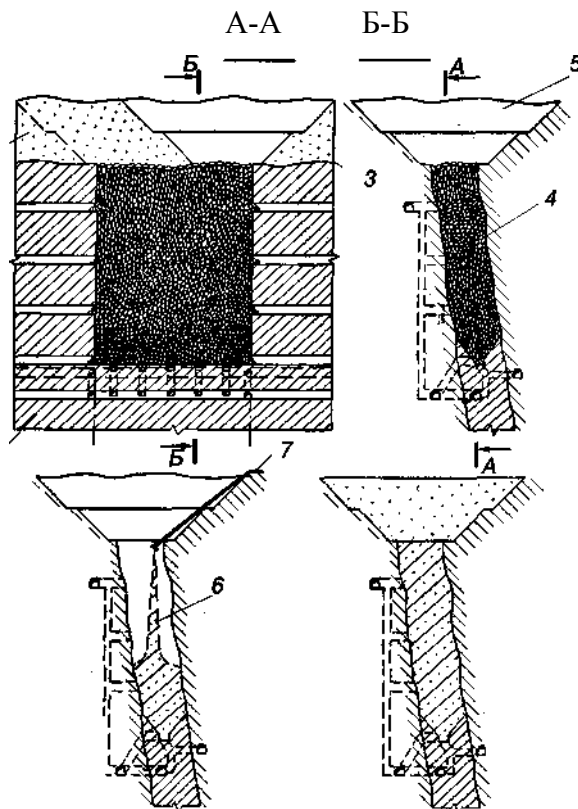


Рис. 3.13. Технология разработки рудных залежей с магазинированием руды:

- 1 - рудный массив; 2 - рыхлые отложения; 3 - граница наносов;
 4 - отбитая замагазинированная руда; 5 - выработанное пространство (карьер); 6 - твердеющая закладочная смесь;
 7 - закладочный трубопровод

В §1÷3 Приложения к главе 7 приведены сведения по истории освоения подземного пространства, эффективности использования подземного пространства в настоящее время и варианты использования подземных полостей.

Методологические принципы обоснования выбора оптимальных технологий освоения месторождений с последующим использованием подземного пространства должны базироваться на поэтапном геомеханическом анализе последствий извлечения руды и последующего использования подземного пространства, а также на эколого-экономическом анализе эффективности предлагаемых технологических мер, - включающих оценку величин горного давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей и необходимых для стабилизации качества объёмов добычи разнорудной руды по блокам и забоям, а также экономическую оценку природоохранных мер – **четвёртое научное положение диссертации.**

Выводы по главе 7

1. Освоение подземного пространства обусловлено долгой историей этого освоения и высокой экономической эффективностью размещения объектов под землёй, с годами происходит рост объёмов и расширяется область применения подземных сооружений – см. § 1 и 2 Приложения к главе 7.

2. Рассмотрев варианты использования горных выработок, исследовав и систематизировав объекты, размещаемые в подземном пространстве - автором разработана собственная **классификация осваиваемых подземных пустот**, где главное значение в выборе варианта использования пустот имеет геомеханический аспект обоснования их устойчивости – см. § 1.

3. Для оценки размеров подземных полостей и продолжительности устойчивого их состояния предложено использовать авторский комплекс инженерных методов расчёта параметров устойчивых обнажений искусственного и породного массивов, искусственных полостей в целом, напряжений, деформаций и сдвижений во вмещающем массиве пород, используя комплекс прикладных компьютерных программ, а для укрепления массива применяя, среди прочих, пространственно-ориентированные опорные конструкции (в качестве примера автором разработан **локальный проект** – см. Приложение 4 настоящей работы).

4. На основе анализа вариантов освоения подземных полостей в устойчивых, погашаемых камерах и в зонах обрушения предложены **области применения и варианты организации** дальнейшего использования выработанного пространства под объекты народнохозяйственного значения: в промышленных, сельскохозяйственных, оборонных, медицинских, культурологических целях, в качестве хранилищ и могильников – см. § 1.

5. Подробно описаны **технологии**: а) строительства подземных атомных теплоэлектростанций; б) сооружения хранилищ радиоактивных и токсичных отходов; в) использования ядерных взрывов в промышленных целях, в т.ч. для дробления руды; г) выщелачивания потерянного металла в погашенных камерах и в зонах обрушения; д) погашения пустот сухой закладкой, отходами производства; е) утилизации пустых пород – см. § 1÷2 и § 3 Приложения к главе 7.

6. Методологические принципы обоснования выбора оптимальных технологий освоения месторождений с последующим использованием подземного пространства должны базироваться на поэтапном **геомеханическом анализе** последствий извлечения руды и последующего использования подземного пространства, а также на эколого-экономическом анализе эффективности предлагаемых технологических мер, - включающих оценку величин горного давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей и необходимых для стабилизации качества **объёмов добычи** разнорудной руды по блокам и забоям, а также экономическую оценку природоохранных мер – **четвёртое научное положение диссертации**.

Выводы по главе 7

1. Освоение подземного пространства обусловлено долгой историей этого освоения и высокой экономической эффективностью размещения объектов под землёй, с годами происходит рост объёмов и расширяется область применения подземных сооружений – см. § 1 и 2 Приложения к главе 7.

2. Рассмотрев варианты использования горных выработок, исследовав и систематизировав объекты, размещаемые в подземном пространстве - автором разработана собственная **классификация осваиваемых подземных пустот**, где главное значение в выборе варианта использования пустот имеет геомеханический аспект обоснования их устойчивости – см. § 1.

3. Для оценки размеров подземных полостей и продолжительности устойчивого их состояния предложено использовать авторский комплекс инженерных методов расчёта параметров устойчивых обнажений искусственного и породного массивов, искусственных полостей в целом, напряжений, деформаций и сдвижений во вмещающем массиве пород, используя комплекс прикладных компьютерных программ, а для укрепления массива применяя, среди прочих, пространственно-ориентированные опорные конструкции (в качестве примера автором разработан **локальный проект** – см. Приложение 4 настоящей работы).

4. На основе анализа вариантов освоения подземных полостей в устойчивых, погашаемых камерах и в зонах обрушения предложены **области применения и варианты организации** дальнейшего использования выработанного пространства под объекты народнохозяйственного значения: в промышленных, сельскохозяйственных, оборонных, медицинских, культурологических целях, в качестве хранилищ и могильников – см. § 1.

5. Подробно описаны **технологии**: а) строительства подземных атомных теплоэлектростанций; б) сооружения хранилищ радиоактивных и токсичных отходов; в) использования ядерных взрывов в промышленных целях, в т.ч. для дробления руды; г) выщелачивания потерянного металла в погашенных камерах и в зонах обрушения; д) погашения пустот сухой закладкой, отходами производства; е) утилизации пустых пород – см. § 1÷2 и § 3 Приложения к главе 7.

6. Методологические принципы обоснования выбора оптимальных технологий освоения месторождений с последующим использованием подземного пространства должны базироваться на поэтапном **геомеханическом анализе** последствий извлечения руды и последующего использования подземного пространства, а также на эколого-экономическом анализе эффективности предлагаемых технологических мер, - включающих оценку величин горного давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей и необходимых для стабилизации качества **объёмов добычи** разнорудной руды по блокам и забоям, а также экономическую оценку природоохранных мер – **четвёртое научное положение диссертации**.