

An abstract graphic on the left side of the slide, consisting of multiple overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of depth and movement, resembling a stylized ribbon or a geological formation.

СКВАЖИННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГ ИЯ

доцент кафедры РМПИ канд.техн.

наук

Дмитриев П.Н.

УЦ-2 ауд.1252

<https://vk.com/public207026659>

Названия разделов



Термины и определения



Геотехнологические свойства массива горных пород



Физико-химические основания геотехнологии



Производственные процессы геотехнологии



Вскрытие и системы разработки МПИ



Click to add Title



Click to add Title



Click to add Title

Термины и определения

Технология разработки полезных ископаемых включает три направления: открытая, подземная и скважинная технологии добычи. Скважинная технология добычи применяется для добычи воды, нефти, газа и твёрдых полезных ископаемых. Учение о добыче твёрдых полезных ископаемых через скважины получило название **геотехнология** — это наука о физических, химических, биохимических и микробиологических методах воздействия на продуктивную залежь для перевода полезных ископаемых в подвижное состояние и последующее извлечение его через скважины, буримые с поверхности до месторождения.

Классификация геотехнологических способов разработки месторождений полезных ископаемых

Вид подвижного состояния полезного ископаемого	Способ перевода полезного ископаемого в подвижное состояние		
	Физический	Химический	Комбинированный (комплекс физических, химических и биологических воздействий)
Газообразное	Воздействие температуры, давления (сублимация, перегонка)	Окисление, разложение (частичное или полное сжигание, обжиг)	Химические реакции с участием физических полей, микробиологического воздействия
Жидкотекучее (расплав, раствор)	Воздействие температуры, давления (плавление, перегонка, нагрев)	Выщелачивание и растворение с образованием молекулярных растворов	Растворение, выщелачивание и гидрогенизация с участием физических полей, микробиологического воздействия
Гидромеханическая смесь	Гидро-, пневморазрушение, воздействие физическими полями	Растворение связующего вещества	Диспергирование с помощью ПАВ, химическими реагентами с участием физических полей, микробиологического воздействия

Геотехнологические способы для добычи ряда полезных ископаемых уже широко используются. К ним относятся, прежде всего, соль, сера, уран, медь.

Термины и определения -2

Применение геотехнологических способов

Способ	Объекты промышленного освоения	Перспективные объекты промышленного применения, направления исследований
Подземное растворение	Месторождения каменной, калийных солей	Месторождения бишофита, соды, глауберовой соли
Подземное выщелачивание	Зоны окисления сульфидных месторождений меди и никеля. Уран инфильтрационных и осадочно-инфильтрационных месторождений, а также забалансовые участки эндогенных месторождений	Месторождения марганца, сульфидные месторождения меди, свинца, цинка и никеля, золота, титана и известняка. Осадочные бурожелезняковые месторождения
Подземная выплавка	Месторождения самородной серы	Осушенные месторождения серы. Известняк, месторождения горючих сланцев, руд, содержащих мышьяк и ртуть. Сера в непроницаемых рудах, битум и тяжелая нефть. Озокерит, сера вулканогенных месторождений, асфальтит, металлы
Подземная газификация	Месторождения каменного и бурого угля	Осушенные месторождения серы. Известняк, месторождения горючих сланцев, руд, содержащих мышьяк и ртуть. Сера в непроницаемых рудах, битум и тяжелая нефть. Озокерит, сера вулканогенных месторождений, асфальтит, металлы.
Скважинная гидродобыча	Месторождения фосфоритов, строительных песков	Осадочные месторождения металлов, строительные пески и гравий. Титан, золото и алмазы, касситерит в погребённых россыпях, желваковые фосфориты, уголь, мягкие бокситы, железо и т.д.
Добыча полезных ископаемых из подземных вод	Месторождения йодо-бромистых вод, содержащих бор, уран, стронций	Сточные воды шахт, рудников и нефтепромыслов
Извлечение и использование тепла Земли	Природные парогидротермы	Тепло «сухих» горных пород

Термины и определения - 3

Основные задачи научного обеспечения

геотехнологии:

- установление связи физико-геологической обстановки залежи, полезного ископаемого и вмещающих пород с рабочими агентами и средствами добычи на уровне молекул, ионов, атомов;
- совершенствование управления геотехнологическими процессами с целью повышения их производительности и селективности;
- создание новых и совершенствование известных технологий прямого превращения ископаемого в целевые компоненты, основанных на малооперационности, поточности, простоте обслуживания и надёжности, безотходности, малой энергоёмкости, высокой производительности труда и низкой себестоимости;
- совершенствование технологии переработки и утилизации добытых продуктивных флюидов;
- охрана окружающей среды и социальные аспекты горного дела.

Имена в области развития

геотехнологии

Д.И. Менделеев предложил идею подземной газификации углей, получившую в дальнейшем развитие в работах английского учёного Д.Рамсея. Академики В.И. Вернадский и Е.Н. Ферсман разработали теоретические основы ряда геохимических процессов. Впервые геотехнологические методы были обобщены И.П. Кириченко. Выдающуюся роль в становлении геотехнологии как науки сыграл академик Н.В. Мельников, создавший в Московском горном институте специальную кафедру и много сделавший от определения основных понятий геотехнологии до практической реализации методов.

В ряде научно-исследовательских и учебных центров страны в настоящее время функционируют лаборатории, занимающиеся проблемами геотехнологии. Ведущие учёные внесли значительный вклад в развитие геотехнологии. Среди них В.В.Ржевский, Е.И.Шемякин, Д.М.Бронников, А.В. Докукин, В.И.Ревнивцев, Н.М.Проскураков, В.Ж.Аренс.

Необходимо отметить также вклад в развитие отдельных методов следующих учёных. Д.П. Лобанова, Ю.Д.Дядькина, В.Н.Казака, Р.С.Пермякова, Н.Ф.Кусова, ЕВ.Крейнина, П.В.Скафа, В.Г. Бахурова, И.К.Руднева, Д.Т.Десятникова и многих других.

Геотехнологические свойства мgp

Физико-химические свойства мgp

1. Строение: строение залежи, мощность, обводенность, условия питания и разгрузки
2. Состав: минеральный, химический, гранулометрический; pH пластовых вод
3. Строение: структура и текстура руд, пористость, трещиноватость, неоднородности разреза
4. Свойства: проницаемость, водопроводимость, размываемость, вязкость, пластичность, размокаемость, влагоемкость...

Гидравлические свойства мgp - 1

1. Фильтрационные (определяются пористостью): общая пористость, динамическая пористость, проницаемость

Общая пористость: отношение объема пустот и пор в объеме горной породы ко всему этому объёму

Коэффициент пористости: отношение объёма пор в объёме горной породы ко всему этому объёму

Поры – субкапиллярные $\varnothing < 0,2$ мм; капиллярные $\varnothing 0,2-100$ мм; сверхкапиллярные $\varnothing > 100$ мм

Породы с субкапиллярными порами относятся к непроницаемым, плотным: [глины](#). Породы с субкапиллярными порами относятся к непроницаемым, плотным: глины, [глинистые сланцы](#). Породы с субкапиллярными порами относятся к непроницаемым, плотным: глины, глинистые сланцы, [известняки](#)

Динамическая пористость: отношение объема пустот, через которые возможно движение жидкости и газа в объёме горной породы ко всему этому объёму

Геотехнология рассматривает состояние мgp в целом , а не элементы мgp

Геотехнологические свойства мпг

1. Гидравлические свойства мпг - 2

1. Фильтрационные (определяются пористостью): общая пористость, динамическая пористость, проницаемость:

Общая пористость: отношение объема пустот и пор в объеме горной породы ко всему этому объёму

Коэффициент пористости: отношение объёма пор в объёме горной породы ко всему этому объёму.

Поры – субкапиллярные $\varnothing < 0,2$ мм; капиллярные $\varnothing 0,2-100$ мм; сверхкапиллярные $\varnothing > 100$ мм.

Породы с субкапиллярными порами относят к непроницаемым, плотным - это глины, глинистые сланцы, известняки.

Динамическая пористость: отношение объема пустот, через которые возможно движение жидкости и газа в объёме горной породы ко всему этому объёму.

Проницаемость (П)- суммарная площадь поверхности динамических пор – важнейшая геотехнологическая характеристика мпг. Определяется в натуральных условиях . Измеряется *коэффициентом проницаемости*.

Абсолютная П. – пропускная способность объёма мпг (измеряется по воздуху).

Эффективная (фазовая) П. – пропускная способность (измеряется для жидкости

Относительная П. – отношение эффективной П. к абсолютной П.

Единица измерения проницаемости – дарси (Д) - среда с проницаемостью 1 дарси позволяет жидкости с динамической вязкостью 1 сантипуаз (1 мПа·с, что близко к вязкости воды) под перепаде давления

1 атмосфера/см образовывать объёмный расход 1 см³/с через поперечную площадь в 1 см².

Геотехнологические свойства мпг

1. Гидравлические свойства мпг -3

Коэффициент фильтрации (K_{ϕ})- скорость фильтрации газа или жидкости через горную породу, м/сут.

По величине K_{ϕ} породы различают: водоупорные ($K_{\phi} < 0,1$ м/сут); слабопроницаемые ($0,1 < K_{\phi} < 10$);

влагопроницаемые ($10 < K_{\phi} < 100$); среднепроницаемые (K_{ϕ} до 500);

Водоотдача — способность горных пород отдавать воду в результате свободного вытекания

Водоустойчивость — способность горных пород сохранять связность, консистенцию и прочность при взаимодействии с водой

Капиллярность — способность горных пород поднимать влагу по порам под воздействием капиллярных сил

Набухание — способность горной породы увеличивать объём под воздействием влаги (поглощать жидкость)

Усадка — способность горной породы уменьшать объём при высыхании

Просадочность — способность горной породы уменьшать объём при замачивании

Смачиваемость — способность горной породы входить в молекулярное взаимодействие с жидкостями

Адсорбция — способность горной породы концентрировать на своей поверхности различные вещества из газов, паров и жидкостей

Абсорбция — способность горной породы поглощать пары, газы и жидкости

Геотехнологические свойства МГП

2. Тепловые свойства МГП -1

Характеризуют способность горных пород переходить в подвижное состояние (изменять фазовое состояние)

в результате нагрева: плавление, испарение, сублимация, кристаллизация, конденсация.

Способность горных пород к фазовым превращениям определяется:

Плавление — способность полезного ископаемого переходить в жидкое состояние при нагревании. Характеризуется температурой плавления и удельной теплотой плавления. Температура плавления — это температурный интервал, определяющий температуру начала плавления горной массы и полного перехода её в жидкое состояние. Удельная теплота плавления — количество тепла, необходимого для плавления единицы горной массы.

Испарение (парообразование) — способность полезного ископаемого переходить из твёрдой или жидкой фазы в газообразную. Оценивается количественно теплотой испарения, — количеством тепла, необходимого для преодоления сил связи между молекулами и их «отрыва» с поверхности.

Сублимация — способность полезного ископаемого переходить из твёрдого состояния в газообразное. Количественно оценивается теплотой сублимации.

Кристаллизация — способность полезного ископаемого к образованию и росту кристаллов из расплавов, растворов или газов. Возникает в результате нарушения равновесия исходной фазы (пересыщение или переохлаждение). В количественном отношении характеризуется степенью кристаллизации и температурой кристаллизации. Степень кристаллизации — количество вещества, выделившегося в твёрдую фазу из раствора или расплава. Температура кристаллизации — температура, соответствующая началу образования твёрдой фазы.

Конденсация — способность вещества переходить из газообразного в твёрдое или жидкое состояние.

Геотехнологические свойства МГП

2. Тепловые свойства МГП -2

Параметры геотехнологических методов, основанных на нагреве полезного ископаемого, используют следующие тепловые свойства МГП:

Теплопроводность — способность горной породы передавать тепловую энергию при приложении разности температур. Характеризуется коэффициентом теплопроводности и коэффициентом конвекции.

Теплоёмкость — способность горной породы повышать своё теплосодержание при повышении температуры.

Характеризуется удельной, средней и истинной теплоёмкостью, а также коэффициентом температуропроводности.

Тепловое расширение / сжатие — способность горной породы изменять свои линейные размеры при изменении температуры. Характеризуется коэффициентами объёмного / линейного расширения.

3. Электромагнитные, радиационные свойства МГП -1

Для контроля хода и регистрации параметров геотехнологических процессов, при предварительной переработке добытого полезного ископаемого широко используются электрические свойства МГП:

Электропроводность характеризуется количественно удельной электропроводностью или удельным электрическим сопротивлением и коэффициентом электрической анизотропии.

Электрическая прочность — способность горной породы сопротивляться разрушающему действию электрического напряжения. Количественно измеряется пробивным напряжением.

Поляризация — способность горной породы взаимодействовать с окружающим электрическим полем. Оценивается относительной диэлектрической проницаемостью и углом диэлектрических потерь.

Геотехнологические свойства мgp

3. Электромагнитные, радиационные свойства мgp -2

К магнитным свойствам горных пород относятся:

Магнитная восприимчивость — свойство горных пород намагничиваться под воздействием внешнего магнитного поля.

Остаточная намагниченность — способность горной породы сохранять намагниченность.

Радиационные свойствам горных пород:

Естественная радиоактивность — способность горной породы создавать радиоактивное излучение.

способность поглощать α -, β -, γ - и нейтронное излучение.

4. Отдельные механические свойства мgp -1

В геотехнологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых особо значимы специфические механические а также акустические свойства мgp:

Тиксотропность — способность горных пород, содержащих коллоидные фракции, под воздействием динамических нагрузок к обратимым переходам из твёрдого состояния в жидкое. Тиксотропность зависит от вида воздействия, его интенсивности и длительности.

Показателями способности горной породы к разрушению являются чувствительность / устойчивость к деформациям и предел структурной прочности.

Прочность — способность горной породы сопротивляться разрушению под воздействием внешних сил. Параметры прочности: предел прочности при одноосном сжатии или растяжении, сопротивление срезу, предел прочности при изгибе, коэффициент крепости.

Геотехнологические свойства мпг

4. Отдельные механические свойства мпг -2

Твёрдость — способность горной породы оказывать сопротивление локальным деформациям. Характеризуется показателем статической и динамической твёрдости.

Вязкость разрушения — способность горной породы сопротивляться распространению в ней трещин.

Упругость — способность горной породы восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры. Характеризуется параметрами: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, коэффициент всестороннего сжатия.

Пластичность — способность горной породы изменять форму без разрыва сплошности при силовом воздействии и сохранять эту форму при снятии действующей нагрузки. Характеризуется параметрами: степень пластичности, коэффициенты пластичности и уплотнения.

Компрессионная способность — способность горной породы сжиматься при вертикальной нагрузке и невозможности бокового расширения. Характеризуется параметрами: коэффициенты уплотнения и консолидации, модули осадки и полной деформации.

Хрупкость — способность горной породы к внезапному разрушению при нагрузке без заметных пластических деформаций. Она количественно характеризуется коэффициентом хрупкости.

Акустические свойства мпг используются и учитываются для разрушения мпг ультразвуковыми волнами, а также в геофизических методах контроля процессов геотехнологии. Характеризуются акустической проводимостью и поглощением.

Физико-химические основания геотехнологии

1. Физические и химические процессы геотехнологии

Геотехнологические способы разработки МПИ реализуют физические и химические процессы воздействия на полезное ископаемое.

Физические процессы изменяют форму, внешний вид и физические свойства полезного ископаемого.

Химические процессы изменяют химический состав и химические свойства полезного ископаемого.

Каждый геотехнологический способ реализует, как правило, комплекс физических и химических процессов, когда в конкретном способе некоторые процессы являются основными, другие — вспомогательными, третьи — обеспечивающими.

Основными процессами данной геотехнологии служат процессы, связанные с добычей полезных ископаемых. Например, процессы перевода полезного ископаемого в подвижное состояние, доставки рабочих агентов в добычное поле, выдачи продуктивных флюидов на поверхность.

Обеспечивающими процессами данной геотехнологии служат процессы, дающие возможность выполнять основные (добычные) процессы. Обеспечивающими являются: процессы вскрытия и подготовки месторождения, приготовления рабочих агентов, переработки продуктивных флюидов, контроля и управления параметрами добычи, управления качеством и др.

Вспомогательные процессы данной геотехнологии: энергоснабжение, ремонт добычного оборудования, геолого-маркшейдерское обслуживание добычных работ и т.д.

Физико-химические основания геотехнологии

2. Процессы растворения и выщелачивания п.и. - 1

С помощью различных растворителей можно переводить в подвижное состояние многие полезные ископаемые.

Такой перевод происходит в результате процессов растворения и выщелачивания, которые различаются механизмом взаимодействия растворителя и полезного ископаемого.

Растворение протекает в результате диффузии и межмолекулярного взаимодействия без нарушения химического состава полезного ископаемого. Процесс растворения лежит в основе скважинной добычи растворимых в воде солей: галита, сильвина, бишофита и др.

Процесс растворения — гетерогенная реакция (хим. реакция с участием веществ, находящихся в различных фазах и составляющих в совокупности гетерогенную систему), происходящая на границе раздела двух сред: твёрдой и жидкой. В природе гетерогенные реакции входят в комплекс процессов, приводящих к образованию осадочных пород и выветриванию [1].

Растворение включает: 1) поступление растворителя к поверхности растворяемого вещества; 2) взаимодействие растворителя и растворяемого вещества (межфазные процессы); 3) удаление растворённого вещества от поверхности растворяемого вещества (диффузионный процесс).

Скорость диффузионного процесса растворения определяется разностью концентраций растворяемого вещества на контакте между пограничным слоем насыщенного рассола и общей массой растворителя. По мере насыщения раствора скорость растворения уменьшается по логарифмическому закону.

Параметры растворения:

массовая скорость растворения – количество минерала, растворяемое в единицу времени с единицы поверхности;

линейная скорость растворения – расстояние, на которое распространяется растворение в единицу времени.

Скорость растворения зависит от угла наклона поверхности растворяемого вещества и температуры растворителя, но мало

Физико-химические основания геотехнологии

2. Процессы растворения и выщелачивания п.и. - 2

Переведённый в раствор полезный компонент не полностью извлекается в процессе отработки. Часть его поглощается слабопроницаемыми безрудными прослоями рудовмещающего горизонта. Потери за счёт поглощения в первый период выщелачивания могут достигать до 20–30% относительно общего объёма выщелачиваемого компонента. Это негативный процесс, определяющий одно из слагаемых потерь полезного ископаемого в недрах. Тем не менее, благодаря постоянной фильтрации по проницаемому слою растворителя, эти потери могут быть снижены до 5–6 % [2].

По характеру проникновения внутрь куска руды растворители делятся на три типа:

- 1) руды, в которых растворитель просачивается более или менее одновременно и постоянно со всех сторон;
- 2) руды, в которых растворитель проникает сначала по трещинам и плоскостям слоистости, т.е. по основным каналам, а затем из них поступает в мельчайшие поры и капилляры;
- 3) руды, которые при обработке растворителем разрушаются [2].

Пористость рудных монолитов обычно во много раз ниже пористости глин (эффективная пористость скальных руд обычно 0,5-3,0 %), однако размеры пор и капилляров в куске выше, чем в глинистых породах.

Природа растворения (солей) очень сложна, ещё больше её осложняет наличие нерастворимых компонентов. Особенно сложен процесс, когда имеем дело с растворением одновременно нескольких веществ, например, сильвинита, состоящего из хлористого калия (сильвина) и хлористого натрия (галита).

Кристаллизация (соли) — процесс, обратный растворению. Она наступает, когда раствор при данной температуре пересыщен, и происходит вследствие испарения части растворителя или понижения температуры насыщенного раствора. Скорость кристаллизации зависит от присутствия в растворе зародышей кристаллов, быстроты охлаждения раствора, перемешивания, высокой начальной температуры, чистоты раствора.

Физико-химические основания геотехнологии

2. Процессы растворения и выщелачивания п.и. - 3

Выщелачивание - изменением химического соединения полезного ископаемого и переводом его в раствор. Способом выщелачивания ведется извлечение из руд металлов, их солей и окислов.

В качестве выщелачивающих агентов используют кислоты и водные растворы солей.

Механизм *процесса* выщелачивания определяется структурой и составом растворяемого минерала, характером химической связи в его кристаллической решётке, комплексом физико-химических свойств растворителя. В основе выщелачивания могут лежать:

- обменные реакции, при которых происходит образование легкорастворимых соединений за счёт обмена ионами (взаимодействие окислов и солей металлов с кислотами);

- окислительно-восстановительные реакции, при которых происходит образование легкорастворимых соединений за счёт передачи электронов от атомов выщелачивающего агента к атомам минерала и наоборот; вещества, отдающие электроны, называются восстановителями, а принимающие – окислителями;

- реакции с образованием комплексных соединений. Методы химического извлечения минералов, основанные на выщелачивании, предусматривают обычно селективное извлечение полезного компонента.

При подземном выщелачивании к растворителю предъявляются следующие *требования*:

- 1) обеспечение относительно полного перевода полезного компонента в раствор;
- 2) низкая стоимость реагента и его доступность на рынке;
- 3) селективность в процессе выщелачивания;
- 4) обеспечение коррозионной стойкости применяемой аппаратуры и материалов;
- 5) исключение условий, приводящих к засорению пор и капилляров в выщелачиваемой рудной массе и снижающих проницаемость массива;
- 6) возможность осуществления процесса без нагрева, дополнительного измельчения, перемешивания и т. п.

Физико-химические основания геотехнологии

2. Процессы растворения и выщелачивания п.и. - 4

Выщелачивание, например, является основной операцией при извлечении урана на месте залегания руды, так как содержание полезного компонента в них ничтожно мало, что определяет величину извлечения и стоимость конечного продукта. Несмотря на многообразие типов месторождений, руд и минералов, содержащих уран, для извлечения его обычно используют водные растворы минеральных кислот или солей карбонатов щелочных металлов.

Наиболее дешёвым растворителем для выщелачивания является серная кислота. Другие растворители характеризуются существенно меньшей эффективностью. Для интенсификации процесса при подземном выщелачивании некоторых руд в растворитель добавляют окислитель, например: кислород, перманганаты, перекись водорода, азотсодержащие окислители и др.

Процесс выщелачивания включает три основные стадии:

- 1) транспортировку растворителя к поверхности выщелачиваемых минералов;
- 2) химическую реакцию с образованием растворимых солей;
- 3) транспорт растворённых продуктов реакции в объём раствора.

Процесс выщелачивания часто сопровождается осаждением ценных компонентов или образованием плотных плёночных покрытий на поверхности растворения. В процессе выщелачивания происходит снижение проницаемости массива - кольматация (фр. Colmatage - заполнение, самоуплотнение). Выделяют следующие формы кольматации:

- 1) химическая - образование в порах химических осадков;
- 2) газовая - образование газообразных продуктов в пласте в результате взаимодействия кислоты с карбонатными составляющими пород;
- 3) ионообменная - изменение размера пор в присутствии органического вещества и глинистых частиц в проницаемых породах под действием изменения рН и минерализации фильтрующихся растворов;
- 4) механическая - закупорка поровых каналов пород механическими взвесями или частицами, содержащимися в фильтрующихся растворах.

При отработке месторождения способом подземного выщелачивания одновременно реализуются разные формы кольматации.

Физико-химические основания геотехнологии

3. Термические и термохимические способы воздействия на ммп - 1

Термическое воздействие на горные породы переводит агрегатное состояние вещества форму, удобную для доставки к скважине и на поверхность (жидкость, газ), а также его физические свойства (например, уменьшает его вязкость, улучшая условия фильтрации).

Термическое воздействие на горные породы - процесс эндотермический, требующий подвода тепловой энергии. Подвод тепла может осуществляться различными теплоносителями (дымовые газы, пар, горячая вода и т.п.) или воздействием на пласт различного рода физическими полями. Выбор температуры воздействия зависит от конкретного полезного ископаемого.

Например, температура плавления озокерита (твердая нефть) составляет 50...80°C, серы 112,8...119°C. Причем при температуре +160°C вязкость серы повышается примерно в 800 раз. При превышении определённой температуры начинаются иные химические превращения вещества.

Характер протекания процессов термического воздействия на горные породы во многом определяется составом минералов, строением ммп, стабильностью характеристик.

Тепловая энергия на подземном участке вокруг добычной скважины распространяется за счёт:

- **кондуктивного теплообмена**, интенсивность которого полностью определяется температурными условиями протекания процесса и физическими свойствами рудного тела;
- **конвекции**, при которой интенсивность процесса зависит от закономерностей движения жидкости, определяемых уравнениями аэрогазодинамики;
- **теплообмена** между теплоносителем и рудным массивом.

Свойства теплоносителя: большая удельная теплоёмкость, хорошие вытесняющие свойства и дешевизна производства. Выбор теплоносителя чрезвычайно важен, т.к. 50-60 % затрат при выплавке приходится на получение и подогрев теплоносителя. Скорость прогрева массива теплоносителем характеризует коэффициент термоинжекции. Для пара и воды составляет: 31 и 123 [2].

Наиболее эффективный термоинжекционный агент — горячая вода.

Физико-химические основания геотехнологии

3. Термические и термохимические способы воздействия на мgp - 2

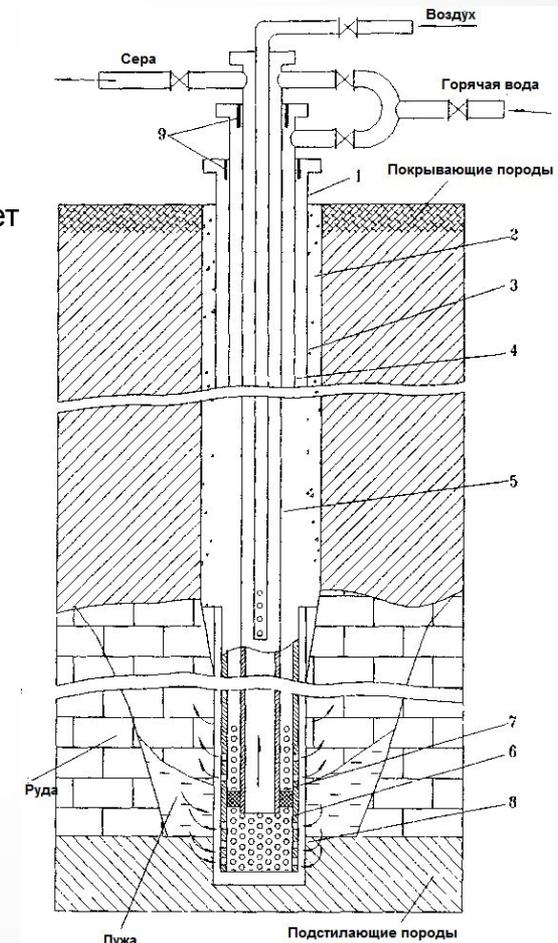
Характерным примером теплового воздействия на мgp является подземная выплавка серы.

При подземной выплавке рудный пласт (сероносный известняк) разогревают до температуры плавления полезного компонента путём нагнетания в массив горячего теплоносителя, который, фильтруясь по трещинам, кавернам и крупным порам, вытесняет холодную воду и выплавляет полезный компонент.

При этом выделяют две области, где происходят различные процессы: первая область простирается от устья до забоя скважины и является транспортной магистралью. Вторая область включает в себя призабойную зону пласта, в которой происходит превращение полезного компонента в жидкое состояние.

У добычной скважины в зоне плавления взаимодействуют две фазы: жидкая (расплавленный полезный компонент, вода) и твёрдая (минералы, составляющие рудный скелет).

Расплавленный тепло горячей воды полезный компонент за счёт бóльшего удельного веса стекает к почве залежи в призабойной зоне скважины, образуя так называемую **лужу**, нижняя часть которой соприкасается с холодными подстилающими породами. При прекращении поступления горячей воды в пласт, в результате аварии или при ремонте, важным параметром является время остывания расплавленного вещества.



Физико-химические основания геотехнологии

3. Термические и термохимические способы воздействия на мgp - 3

Тепловая энергия на подземном участке вокруг добычной скважины распространяется за счёт:

- **кондуктивного теплообмена**, интенсивность которого полностью определяется температурными условиями протекания процесса и физическими свойствами рудного тела;
- **конвекции**, при которой интенсивность процесса зависит от закономерностей движения жидкости, определяемых уравнениями аэрогазодинамики;
- **теплообмена** между теплоносителем и рудным массивом.

Термохимические процессы при геотехнологии основаны на энергетических изменениях системы при химических превращениях полезных ископаемых, возникающих под действием внутрипластового теплового очага. Термохимические процессы лежат в основе таких геотехнологических способов как подземное сжигание серы, газификация угля и сланцев, тепловое воздействие на нефтеносные пласты, подземное сжигание угля.

Обычно наличие очага приводит к тому, что в массиве образуются отдельные зоны, для каждой из которых характерны определённые реакции и температуры. Для обоснования оптимального режима термохимического процесса необходимо установить:

- распределение физико-химических зон процесса;
- влияние и характер изменения фильтрационных зон;
- характер распространения температурных зон;
- режимы подачи рабочих агентов и т.п.

Фантастика: одним из резервов геотехнологии является добыча полезных ископаемых непосредственно из магмы, на месте формирования, однако эти процессы ещё недостаточно изучены.

Физико-химические основания геотехнологии

4. Диспергирование

Диспергирование (от лат. *dispergo* — рассеиваю, рассыпаю * а. *dispersion*; Н. *Dispergierung, Dispergieren, feine Verteilung*, ф. *dispersion*; и. *dispersion*) — тонкое измельчение твёрдых тел или жидкостей, в результате которого образуются дисперсионные системы: порошки, суспензии, эмульсии, аэрозоли.

Диспергирование различных твёрдых тел осуществляют с целью придания им требуемых технологических свойств изменения физических параметров, повышения химической активности. Диспергирование происходит при разрушении горных пород в процессе бурения шпуров и скважин, при абразивном износе инструментов, деталей машин и механизмов. В природных условиях диспергирование сопровождается геотектонические процессы, выветривание горных пород, почвообразование.

Удельная работа, затрачиваемая на диспергирование, зависит от характеристик и структуры измельчаемой породы, поверхностной энергии и степени измельчения.

Введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) — диспергаторов, эмульгаторов, понизителей твёрдости — снижает энергозатраты при диспергировании и повышает дисперсность измельчённой фазы.

Этот процесс пока не нашёл промышленного применения в геотехнологии.

5. Электромагнитный нагрев для снижения вязкости

Физическая сущность экспериментального электромагнитного метода нагрева нефтяных систем (нефти, водонефтяные эмульсии, водонефтенасыщенные горные породы): при воздействии мощных высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полей (ВЧ и СВЧ ЭМП) электромагнитным излучением частотой 13.56 МГц в области диэлектрической поляризации полярных агрегатов нефти (асфальтены, смолы и их соединения), в системе происходит диссипация энергии электромагнитного поля, вызванная ориентационной поляризацией [3]. Развивается направление высокочастотной электромагнитной гидродинамики (ВЧ ЭМГД) для интенсификации химических реакций, поверхностных явлений и адсорбционных процессов в пористой среде (известняки).

Физико-химические основания геотехнологии

6. Гидравлические процессы воздействия на мпг - 1

Гидравлические процессы воздействия на мпг для скважинного извлечения ПИ: гидрорасчленение, гидроподъём, гидроотбойка, гидротранспорт

Гидрорасчленение (гидроразрыв) повышает проницаемость массива за счёт разрыва пласта рабочей жидкостью, закачиваемой в скважину с таким расходом, который скважина не успевает поглощать так, что в забое скважины растёт давление до величины (100 МПа), превышающей предел прочности породы на разрыв. В результате образуются, растут и расширяются проводящие трещины либо по плоскостям напластования, либо по естественным трещинам.

Для предупреждения смыкания трещин после снятия давления, в трещины вместе с жидкостью закачивается крупнозернистый материал (проппант - от англ. propping agent — «расклинивающий агент»). В нагнетательных скважинах в качестве жидкости разрыва используют чистую или загущенную воду. Загустители – компоненты, имеющие крахмальную основу, полимеры, отходы бумажного производства. Для набухающих глин в воду разрыва вводят реагенты, стабилизирующие глины при смачивании и препятствующие набуханию.

Гидроподъём осуществляется за счёт: энергии нагнетаемого рабочего агента, вводимой в скважину энергии сжатого воздуха погружными насосами и гидроэлеваторами.

Подъём руды по скважине может быть осуществлён гидроэлеватором, эрлифтом или их комбинацией.

При гидроэлеваторном подъёме рабочая вода из насадки гидроэлеватора, создавая вакуум в приёмной камере, засасывает поток гидросмеси и, смешиваясь с ним через диффузор, по трубам выдаёт её на поверхность.

Эрлифтный подъём, несмотря на низкий к.п.д. (10-30%), широко применяется для откачки пульпы ввиду своей простоты, надёжности и, главное, возможности свободного выноса абразивных частиц.

Физико-химические основания геотехнологии

6. Гидравлические процессы воздействия на мпг - 2

Гидроотбойка осуществляется струями рабочей жидкости высокого давления специальными скважинными гидромониторами с гибкими и телескопическими наконечниками. Разрушение струёй в основном применяется при разработке слабо-связных и рыхлых горных пород и реже полускальных.

Гидромониторная струя является рабочим органом для разрушения, смыва, подъёма горной массы. Характеризуется размером отдельных структурных элементов, начальным давлением воды на вылете из насадки, силой давления на забой на различных расстояниях от насадки. Гидромониторные струи делятся на: низкого (до 1 МПа), среднего (до 4 МПа), высокого (более 4 МПа) давления.

Размываемость породы определяется физико-геологическими факторами.

Гидравлические факторы гидроотбойки - напор и расход (диаметр насадки).

Технологические факторы гидроотбойки - условия воздействия струи на забой.

Гидротранспорт — транспортировка разрушенной породы в виде пульпы — смеси твёрдого и жидкого в определенном соотношении.

Перемещение разрушенной струёй гидромонитора горной массы к всосу выдачного устройства происходит в потоке по почве камеры *самотёчным* или *напорным* потоком воды; транспортируемый материал условно делится на фракции по крупности: кусковую (более 50 мм), крупнозернистую (от 10 до 50 мм), мелкозернистую (2-10 мм), песчаную (0,25-2 мм), пылеватую (0,05-0,25 мм), иловую (0,005-0,05 мм) и глинистую (менее 0,005 мм).

В потоке кусковая и крупнозернистая фракции перемещаются скачкообразно и волочением по дну потока, все же остальные фракции в основном перемещаются во взвешенном состоянии.

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин -1

Для бурения скважин обычно применяют станки, используемые для поискового бурения. Для сооружения скважин большой глубины используются станки шарошечного бурения типа СБШ, небольшой глубины по слабым породам наносов — станки шнекового вращательного бурения типа СБР, по породам мягких и средней крепости и глубине до 500 м — роторные буровые установки типа УРБ.



Все буровые установки состоят из следующих основных узлов: вышка или мачта ; механизмы подъёма, вращения и промывки; двигатель с трансмиссией; генераторная и компрессорная установка; контрольно-измерительные приборы; превенторы; вспомогательное оборудование.

Привод большинства буровых установок основан на дизельных двигателях или двигателях внутреннего сгорания.

При необходимости бурения большого числа геотехнологических скважин, расположенных относительно недалеко друг от друга, с экологической, технологической и экономической точек зрения, предпочтительным является электрический привод.

В комплект также входит оборудование для выполнения вспомогательных работ: глиномешалки, сита, гидроциклоны, желоба, средства очистки глинистого раствора, отопительная установка и др

Условное обозначение станка включает диаметр скважины в мм и глубину бурения в м, например, СБШ-250МНА-32: диаметр скважины 250 мм, глубина скважины до 32 м.

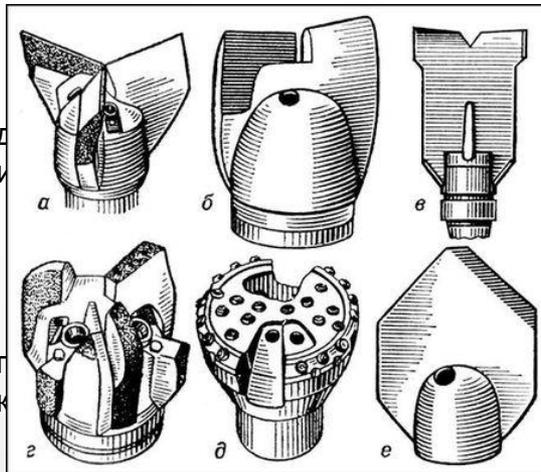
Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин -2

Породоразрушающий инструмент (долота) подразделяется по назначению на: сплошного и колонкового бурения – для углубления скважины, специального назначения – для работы в пробуренной скважине и в обсадной колонне.

Долота сплошного бурения разрушают породу по всей площади забоя скважины и предназначены для углубления скважины. Долота колонкового бурения разрушают забой по кольцу с оставлением в центре забоя столбика породы — керна, используемого в дальнейшем после отрыва и извлечения на поверхность для получения геологоразведочных данных об условиях залегания полезного ископаемого и вмещающих пород.

Для бурения скважин по мягким породам используют лопастные долота, а в породах средней крепости и крепких — шарошечные. Для бурения скважин по весьма крепким горным породам используются алмазные и фрезерные, армированные твёрдым сплавом, долота, работающие на принципе истирания.



а, работающие на принципе резания или скалывания, бывают двух - или (а) трёх- или (б, в) двухлопастными. специального назначения используются при увеличении а также для различного рода аварийных работ: (г)



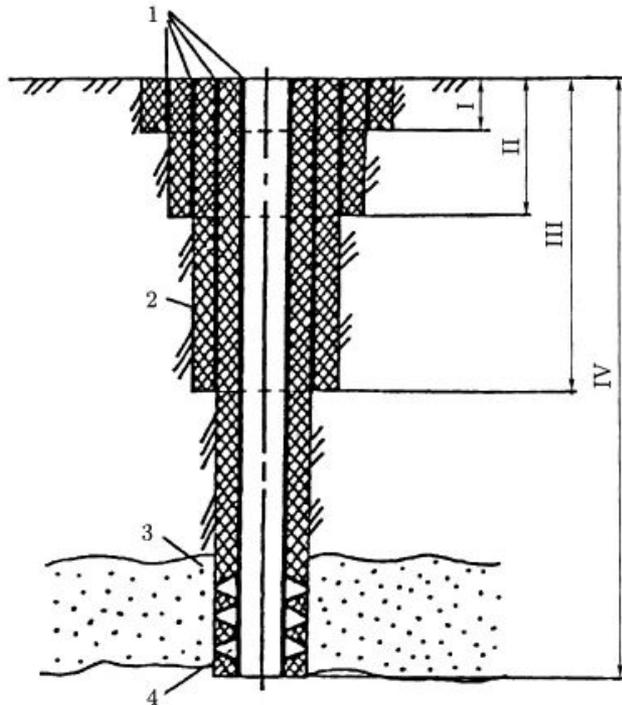
ие на чаще всего состоят из трёх

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин -3

Конструкция скважины включает в себя:

- I - приспособление для задания направления, предназначенное для крепления устья скважины;
- II - кондуктор, перекрывающий верхнюю часть скважины и обеспечивающий изоляцию водоносных горизонтов, а также вертикальность скважины;
- III - колонну обсадных труб, которая опускается до залежи.



Конструкция скважины: 1 – обсадные трубы; 2 – цементный камень; 3 – пласт; 4 – перфорация в обсадной трубе и цементном камне; I – направление; II – кондуктор; III – промежуточная колонна; IV – эксплуатационная колонна

Приспособление для задания направления при большой глубине скважины тщательно центрируется и надёжно закрепляется, а при скважинах небольшой глубины может вообще не применяться.

Кондуктор обязательно цементируется с подъёмом цемента до устья скважины.

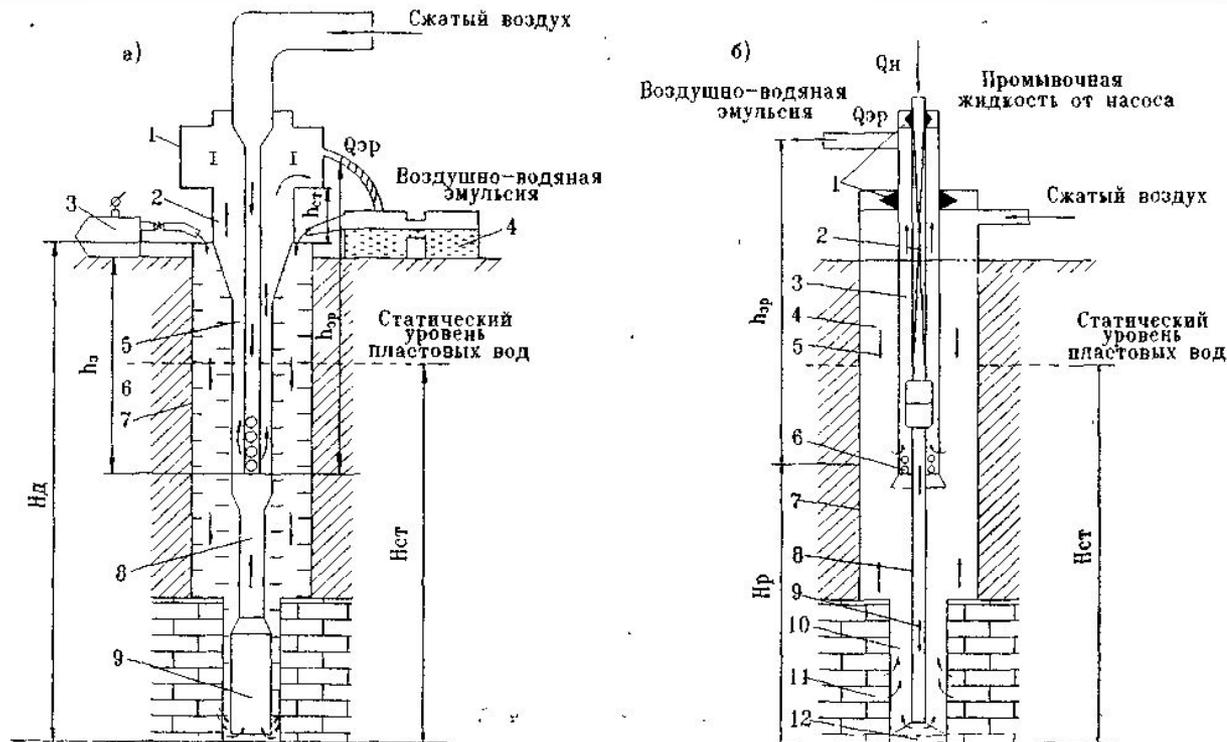
Бурильные трубы служат для передачи вращательного момента и нагрузки долоту и подачи промывочной жидкости. Соединение бурильных труб осуществляется с помощью замков и ниппелей. Используются обычно телескопические бурильные трубы. Бурильные трубы имеют шестигранную или квадратную форму для передачи вращения колонне от ротора бурового станка.

Вертикальность скважин обеспечивается центратором.

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин – 4

Схемы промывки, используемые при бурении геотехнологических скважин: а) обратно-всасывающая промывка; б) с частичной аэрацией столба промывочной жидкостью



Бурение выполняется при непрерывном отсосе промывочной жидкости из бурильных труб с помощью эрлифта, центробежного или водоструйного насосов. Устье скважины не герметизируется и постоянно соединено каналом с отстойником, откуда вода самотеком поступает в скважину. Промывочная жидкость с разрушенной породой с забоя поступает по бурильным трубам через вертлюг-сальник в отстойник. Во избежание обвалов стенок поддерживают в скважине избыточное давление не менее 0,03 МПа. Для этого в скважине непрерывно поддерживается уровень промывочной жидкости на 3 м выше статического уровня.

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин – 5

После вскрытия залежи скважина обсаживается и цементируется. После затвердевания цемента продолжается бурение. Сооружение скважин состоит из следующих технологических процессов и операций:

- 1) бурение и обсадка скважин: бурение, спуск обсадных труб; бурение по продуктивному пласту; подвозка воды и глинистого раствора, подвозка обсадных труб, ГСМ, бурового инструмента.
- 2) цементирование обсадных колонн: установка устьевого оборудования; приготовление и закачка цементного раствора, подвозка технической воды; подвозка цемента.
- 3) заканчивание скважин: спуск и подъём насосно-компрессорных и эрлифтных труб, пакеров; откачка; нагнетание, кислотная обработка, гидроразрыв; подвозка воды и кислоты для нагнетания.
- 4) оборудование скважин технологическими колоннами труб: спуск рабочих колонн труб; подвозка труб; опробование герметичности рабочих колонн и задвижек.

Крепление скважин включает два технологических процесса: спуск обсадных труб и их цементацию.

Обсадные трубы обычно изготавливают цельнотянутыми или цельнокатаными. Соединяются они между собой муфтами или сваркой. Перед спуском обсадных труб каверномером исследуют профиль скважины и определяют количество необходимого цементного раствора.

Цементация скважины является наиболее ответственным процессом. Перед цементацией затрубное пространство промывается водой или глинистым раствором. Цемент закачивают с помощью цементировочного агрегата.

Опресовка скважин - это испытания на герметичность, её производят нагнетанием воды. После достижения заданного давления закрывают вентиль и выжидают в течение одного часа. Если давление падает, цементацию повторяют.

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин - 6

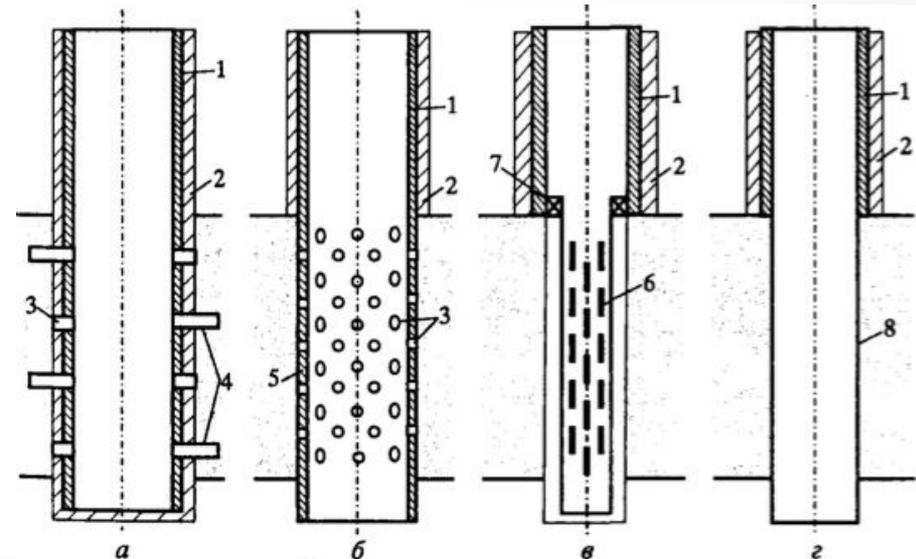
Оборудование добычных скважин. Под оборудованием добычных скважин понимается спуск в них колонн эксплуатационных труб. Набор эксплуатационных труб опускается до забоя скважины, опирается на него или подвешивается на оголовке скважины. Эксплуатационные трубы обычно перфорированы. Длина участка перфорации зависит от мощности залежи. Диаметр отверстий составляет 18...20 мм, они располагаются в шахматном порядке на расстоянии 80-100 мм.

Для различных геотехнологических способов используются различные виды оборудования.

Диаметр эксплуатационных труб принимают максимально возможным, так как от этого зависит производительность добычной скважины. Оборудование скважин осуществляют непосредственно перед пуском во избежание коррозии.

Эксплуатационные трубы обычно соединяются сваркой.

Устья скважин обычно также проходят эту стадию, заключающуюся в обвязке колонн труб устьевой арматурой, которая герметизирует устье и обеспечивает возможность раздельного движения рабочих агентов



Типовые конструкции забоев скважин:

а — с перфорированным забоем; б — с забойным хвостовиком; в — с забойным фильтром; г — с открытым забоем;

1 — обсадная колонна; 2 — цементное кольцо; 3 — перфорационные отверстия; 4 — перфорационные каналы; 5 — перфорированный хвостовик; 6 — забойный фильтр; 7 — сальник (пакер); 8 — открытый забой

Производственные процессы геотехнологии

1. Строительство добычных скважин - 7

От 30 до 70 % скважин не готовы после испытаний на герметичность обеспечить требуемую приемистость из-за кольматации призабойной части. Требуется проводить гидроразрыв, солянокислотную ванну, гидроперфорацию или торпедирование, что увеличивает стоимость сооружения скважины на 20%.

Перед сдачей скважины в эксплуатацию проводят комплекс измерений, включающий:

- **электрический каротаж** — измерение кажущегося удельного сопротивления и потенциала естественного электрического поля, на основании чего можно судить о гидравлической проницаемости горных пород;
- **термокаротаж** — выделение слоев пород с различными температурными свойствами, определяющими литологический состав горных пород;
- **кавернометрия** — определение истинного диаметра скважины для косвенной оценки пористости и трещиноватости горных пород;
- **инклинометрия** — замер кривизны скважины для определения положения забоя скважины в пространстве.

Производственные процессы геотехнологии

2. Изготовление рабочих агентов - 1

Для каждого способа геотехнологии характерна своя технологическая схема производства рабочих агентов.

Виды оборудования для производства рабочих агентов:

- 1) различные насосные агрегаты для создания высокого напора,
- 2) нагревательные установки для горячей воды и пара,
- 3) компрессорные и воздуходувные устройства,
- 4) установки для приготовления растворов щелочей и кислот необходимой концентрации,
- 5) регенерационные (восстановительные) установки для рабочих сред.

Обычно сооружаются стационарные или полустационарные пункты для подготовки рабочих агентов, от которых к каждой скважине прокладываются трубопроводы. Обычно трубопроводы монтируют с помощью трубокладчиков и быстроразъемных соединений.

При скважинной гидродобыче рабочий агент – вода, где основным элемент технологической схемы — обратное водоснабжение, когда доставленное водой добытое полезное ископаемое складывается на карте намыва, вода перепускается в приемный бассейн и вновь насосами подается к добычным агрегатам.

Общая часовая потребность воды определяется произведением заданной часовой производительности скважины на удельный расход воды плюс её потери на отдельных звеньях схемы. Обычно потери составляют 15-20%. По расчетным параметрам расхода и напора воды определяют тип насоса.

Водоводы сооружают из стальных труб. Весьма важной задачей при скважинной гидродобыче является осуществление мероприятий по предотвращению поверхностных и подземных (фильтрационных) утечек воды.

Производственные процессы геотехнологии

2. Изготовление рабочих агентов - 2

А) При подземной выплавке серы основным рабочим агентом является горячая вода. Возможны несколько схем производства горячей воды:

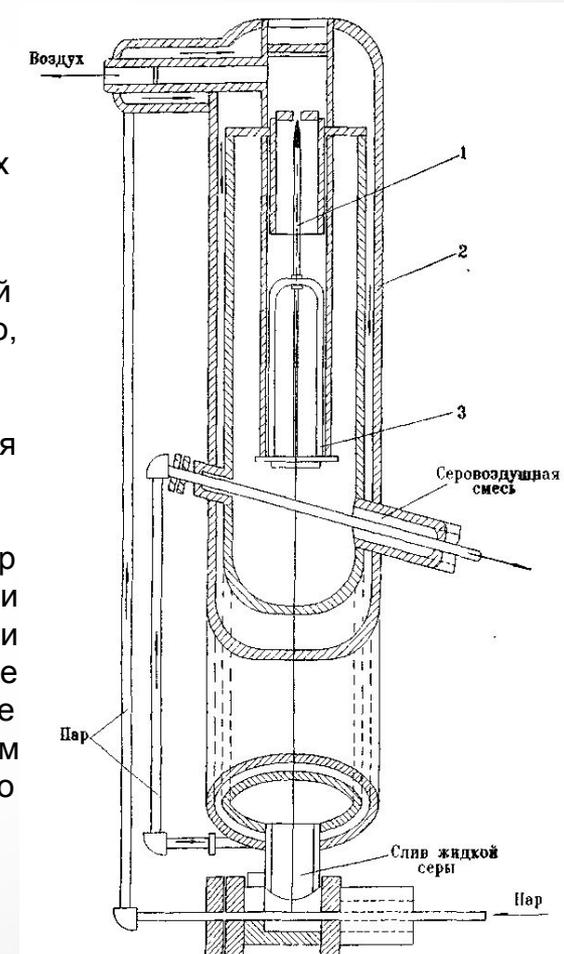
- с применением свежего пара от паровых котлов низкого давления,
- с применением паровых котлов высокого давления,
- проточных водогрейных котлов.

Выбор котлооборудования основывается на технико-экономических расчетах

Б) При подземной выплавке серы также используется сжатый воздух. Для его получения создают компрессорное хозяйство, состоящее из обычных нагнетательных компрессоров.

У места излива откачиваемой из недр серы устанавливаются газовые сепараторы (трапы).

Схема газового сепаратора приведена на рис. справа. Сепаратор представляет собой цилиндр с обогреваемой паровой рубашкой 2 и клапаном для сброса воздуха, включающего запорную иглу 1 и поплавков 3. Установка газового сепаратора обеспечивает отделение серы от воздуха, воды и пара и облегчает транспортирование жидкой серы, так как уменьшает в 30-50 раз объем транспортируемой массы и уменьшает расход сжатого воздуха, что удешевляет процесс.



Производственные процессы геотехнологии

2. Изготовление рабочих агентов - 3

При подземном выщелачивании применяют в качестве растворителя серную кислоту, поэтому к трубам для транспортирования продукта по поверхности и в скважине предъявляют следующие требования:

- высокая коррозионная устойчивость к слабым растворам кислоты;
- высокая механическая прочность при внутренних и внешних нагрузках;
- возможность повторного использования;
- простота и герметичность соединений отдельных труб;
- дешевизна материала труб,

Лучшие показатели у полиэтиленовых труб низкой и высокой плотности (ПНП и ПВХ). Они изготавливаются четырёх типов – лёгкого (Л), средне лёгкого (СЛ), среднего (С), тяжёлого (Т). Из полиэтилена низкой плотности обычно изготавливают трубы диаметром до 160 мм, а ПВХ — до 630 мм.

Специально для подземного выщелачивания выпускают трубы ПВХ сверхтяжёлого типа (СТ) диаметров 110, 114, 160 и 210 мм с толщиной стенок 18 мм.

Соединяют полиэтиленовые трубы встык и или резьбой.

Требования к соединениям труб:

- конструкция и материал соединения должны выдерживать большие осевые нагрузки, значительное внутреннее и наружное давление;
- герметичность соединения должна быть обеспечена в диапазоне температур от -30 до +60°C;
- соединение должно быть коррозионно-стойким к 5-10%-ным растворам серной кислоты и концентрированной соляной кислоты.

Производственные процессы геотехнологии

3. Обслуживание скважин наземное

На предприятии, отрабатывающем месторождение геотехнологическим способом, должно быть оборудование для обслуживания эксплуатационных скважин и монтажа технологических трубопроводов:

специальные самоходные агрегаты, манипуляторы, стационарные монтажные вышки, подъемники и др.

Монтаж наземных технологических трубопроводов обычно ведут с помощью самоходных трубоукладчиков.

Конкретный набор оборудования для поверхностного обслуживания скважин зависит от применяемого геотехнологического способа и учитывает все его технологические, экологические и экономические особенности.

Подробнее поверхностное оборудование и обслуживание геотехнологических скважин рассмотрено в теме, рассматривающей технологические схемы отдельных способов скважинной добычи полезных ископаемых.

Оборудование, устанавливаемое на поверхности для обслуживания геотехнологической скважины, называется **устьевым**, а располагаемое в скважине — **забойным**.

Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 1

В общем случае, **добычное оборудование** включает в себя два типа оборудования:

1. для отделения от полезного ископаемого массива и доставки его к забою скважины;
2. для подъёма полезного ископаемого на поверхность.

К **первому типу** относят: колонны перфорированных труб; скважинные гидромониторы; скважинные нагреватели (горелки, электронагреватели), вибраторы, скважинные излучатели и др.

Ко **второму типу** относят: подъёмники, эрлифты, гидроэлеваторы, погружные насосы, колонны эксплуатационных труб.

Тип применяемого добычного оборудования полностью определяется способом разработки.

Забойное оборудование включает колонну эксплуатационных труб, всевозможные перфорированные фильтры, пакеры и, в отдельных случаях (как при скважинной гидродобыче), исполнительные органы, предназначенные для отделения полезного ископаемого от массива.

Конкретный набор добычного оборудования может быть самым различным, причём не только при использовании различных методов, но и при отработке разнотипных месторождений одним и тем же методом.

Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 2

При подземной выплавке серы колонна эксплуатационных труб включает три концентрических става труб:

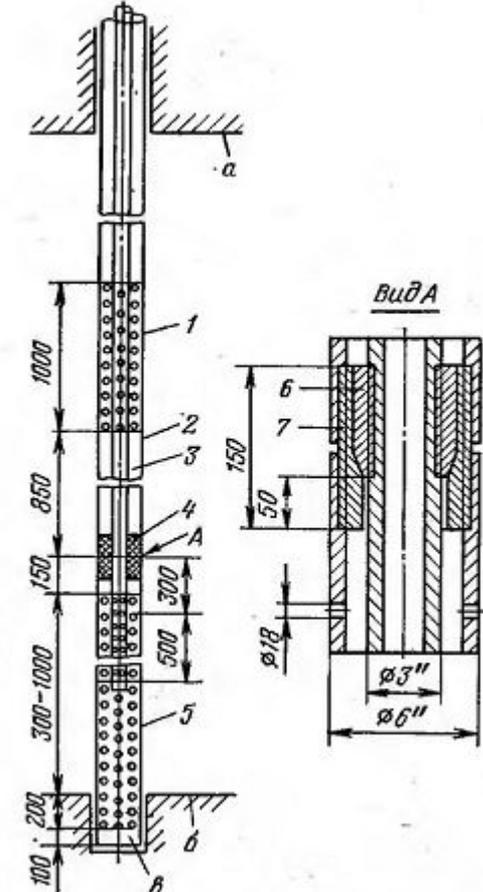
- 1) диаметром 6-8" — для подачи воды;
- 2) диаметром 3-4" — для выдачи полезного ископаемого;
- 3) диаметром 1" — для подачи сжатого воздуха, используемого для выдачи полезного ископаемого.

В забойной части става труб установлен **пакер**, отделяющий перфорацию для подвода теплоносителя в пласт, от перфорации для поступления в став расплавленной серы.

Конструкции пакеров чрезвычайно разнообразны, как разнообразны их функции. Примерная конструкция пакера скважины ПВС приведена на рис. справа.

Оборудование устья скважины включает обвязку колонн труб устьевого арматуры для герметизации устья и для обеспечения возможности отдельного движения рабочих агентов (горячая вода, жидкая сера, воздух или вода, рассол, нерастворитель) в трубах. Обвязка арматуры на устье скважины должна предусматривать возможность поступления горячей воды как в водоподающие, так и в серодобычные трубы.

Аналогично выглядит и забойное оборудование при подземном растворении солей.



**Забойное оборудование
добычной скважины ПВС**

1 — верхняя перфорация; 2 — колонна водоподающих труб; 3 — колонна серовыдающих труб; 4 — разделительный пакер; 5 — нижняя перфорация; 6 — верхний пакер; 7 — гнездо пакера; а — кровля пласта; б — почва пласта; в — дно скважины

Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 3

Выбор оборудования для скважинной гидродобычи зависит от прочностных характеристик полезного ископаемого, глубины залегания и гидростатических условий.

Гидродобывной агрегат — гидромонитор — может иметь самую разнообразную конструкцию: телескопический, поворотный, на гибком трубопроводе и т.п.

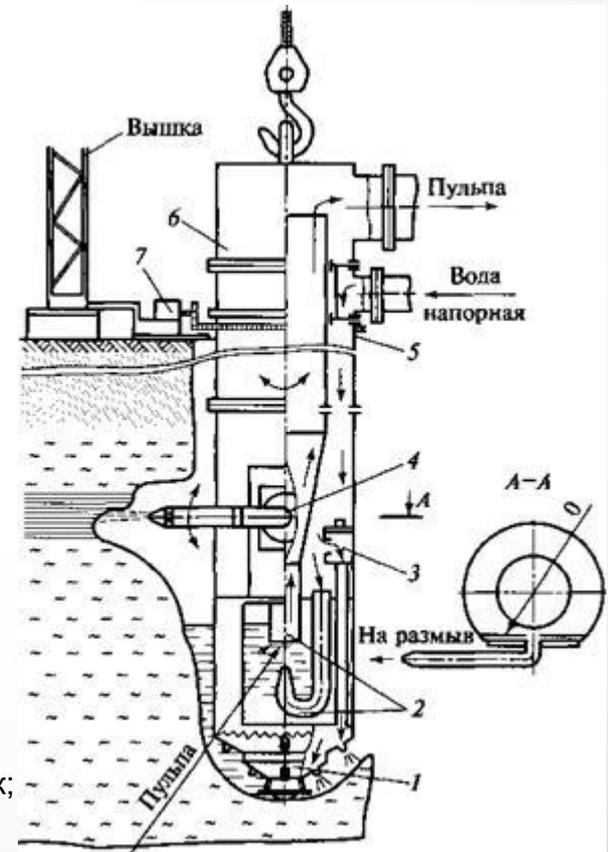
Само забойное оборудование может опускаться в одну или две скважины.

Скважинные гидромониторы по конструкции вывода в рабочее положение различают:

– встроенный, расположенный внутри СГС под углом 90° к его продольной оси - представляет собой гидромониторную насадку внутри корпуса СГС. Форма насадки коноидальная со сложным профилем – коническая с плавным переходом в цилиндрическую. Угол конусной части $14-16^\circ$, внутренний диаметр цилиндрической части $d_n = 10-20$ мм, длина насадки не менее $l_n = 2,5 \cdot d_n$. В насадке формируется напорная струя для размыва пород;

– выводной, закрепляемый шарнирно и занимающий вертикальное положение в специальном углублении на внешней трубе СГС.

- 1 — гидробур; 2— гидроэлеватор; 3 — золотник;
4 — гидромонитор; 5—отсек промежуточный;
6 —корпус прибора; 7—механизм поворота

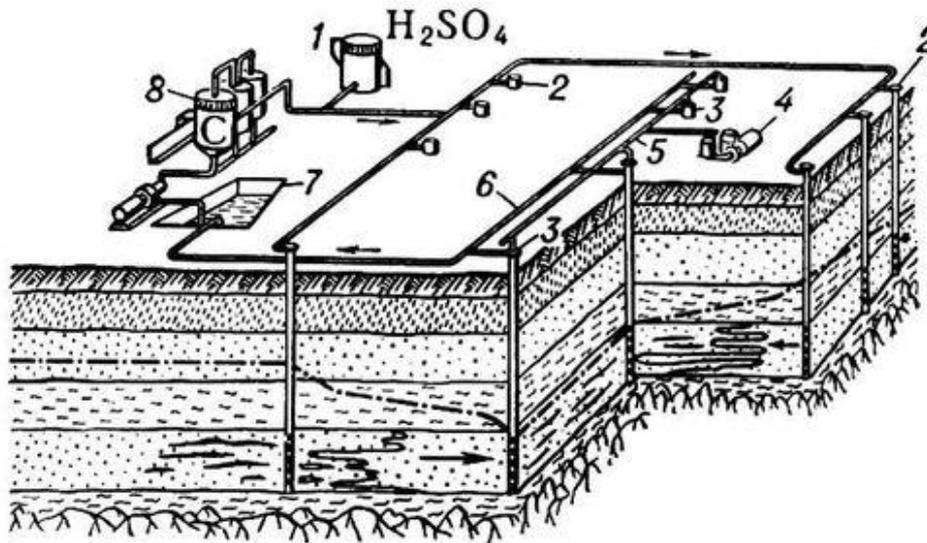


Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 4

Подземное выщелачивание полезных ископаемых, метод добычи полезного ископаемого избирательным растворением его химическими реагентами в рудном теле на месте залегания с извлечением на поверхность. П. в. применяется для добычи цветных металлов и редких элементов, в том числе золота и урана (м-е Добровольное, 2022 год. Запасы 83 т)

Оборудование скважины для подземного выщелачивания включает **нагнетательное** и **откачное**.



Специальные насосы имеют к.п.д. 36-37 % и могут откачивать из скважин продуктивные растворы, содержащие до 10 % серной кислоты и 0,1 г/л механических примесей

Эксплуатационные трубы изготавливают из кислотоустойчивых материалов. В скважинах располагают трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией

Схема отработки пластовых месторождений выщелачиванием через скважины:

1 — узел приготовления растворов; 2 — нагнетательные скважины; 3 — дренажные (откачные) скважины; 4 — компрессор; 5 — воздухопровод для эрлифта продуктивных растворов; 6 — коллектор для продуктивных растворов; 7 — отстойник; 8 — установка для переработки раствора.

Производственные процессы геотехнологии

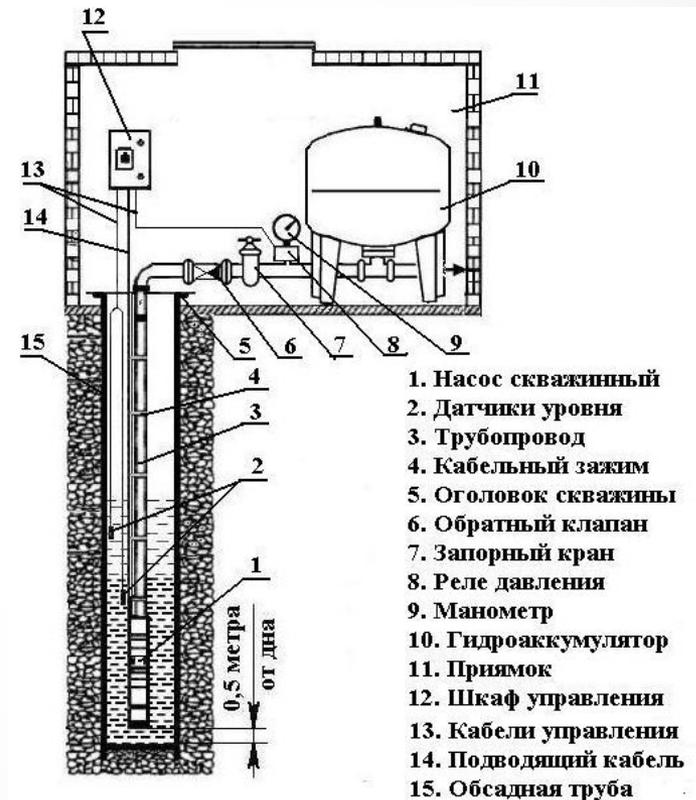
4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 5

Наиболее надежным видом **скважинного транспорта** являются силовая подача насосами, для этого применяют погружные скважинные насосы, часто применяют совместно откачные и нагнетательные скважины.

При одновременном применении откачных и нагнетательных скважин соотношение их количества составляет 1:3, 1:4, 1:5.

Следовательно, **производительность откачных скважин** должна быть в 3-5 раз больше производительности нагнетательных скважин.

Скважинные **погружные насосы** имеют к.п.д. 36-37 % и могут откачивать из скважин продуктивные растворы, содержащие до 10 % серной кислоты и 0,1 г/л механических примесей.



Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 6

Процесс подъёма полезного ископаемого может происходить:

- 1) энергией нагнетаемого рабочего агента;
- 2) вводимой в скважину энергией сжатого воздуха или газа;
- 3) погружными насосами;
- 4) гидроэлеваторами.

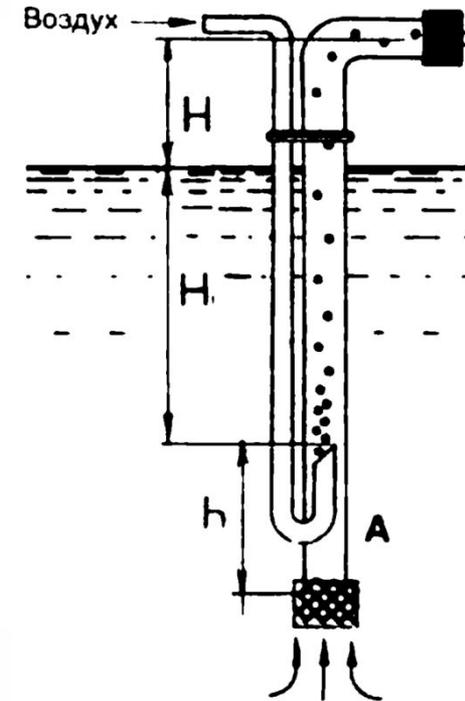
Наиболее простым и эффективным средством подъёма является нагнетательный эрлифт – насос-пенообразователь. Воздух подаётся по воздухопроводу, а продукт поднимается по кольцевому пространству между воздухоподающей и обсадной трубами. Образующаяся пена всплывает. Нижняя часть воздухопровода перфорирована.

Достоинства эрлифтного подъёма: являются:

- простота,
- надёжность в работе,
- отсутствие движущихся частей,
- возможность свободного выноса частиц пород, сопутствующих продуктивным растворам.

Недостатки эрлифтного подъёма:

- относительно низкий к.п.д. (не более 10 %);
- необходимость наличия специального компрессорного оборудования



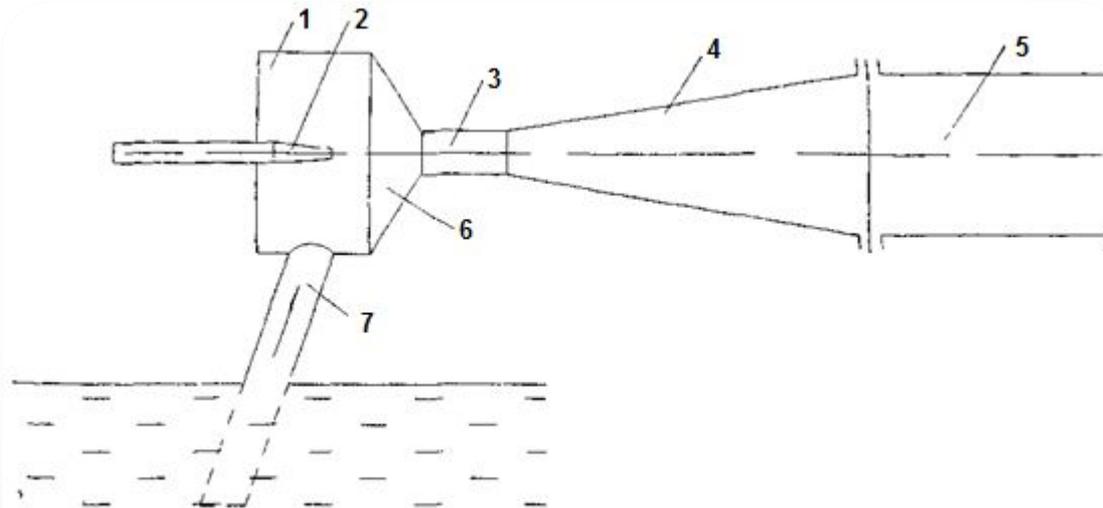
Производственные процессы геотехнологии

4. Процессы геотехнологической добычи полезного ископаемого - 7

Принципиальная схема гидроэлеваторного подъёма показана на рис. ниже

Напорная вода в камеру смешения 1 поступает из насадки 2. При этом в приёмной камере создаётся вакуум, за счет которого засасывается поток гидросмеси, который смешивается с потоком воды в смесительной камере 3. Смесь через диффузор 4 поступает в нагнетательный трубопровод 5, и по нему выдаётся на поверхность. Поток гидросмеси засасывается в приёмную камеру и поступает в конфузор 6 через всасывающий патрубок 7, опущенный в гидросмесь. Из гидроэлеватора выходит больше воды, чем поступает в него.

Эффективность работы гидроэлеватора определяется соотношением расхода перекачиваемой и рабочей жидкостей, а также площадей поперечного сечения камеры смешения и всасывающей трубы. Кроме того, на к.п.д. гидроэлеватора оказывает влияние подпор перекачиваемой жидкости при работе в затопленной добычной камере, а также крупность транспортируемой руды.



Экспериментально установлено: к.п.д гидроэлеватора не превышает 0,4.

Подъём руды по скважине часто осуществляется комбинацией гидроэлеватора и эрлифта

Производственные процессы геотехнологии

5. Процессы управления массивом горных пород при геотехнологии

- 1
Управление горным давлением при геотехнологии возможно

- 1) выбором параметров технологии,
- 2) системой расположения выработок,
- 3) временем отработки и т.п.

Управление массивом горных пород при геотехнологии возможно по процессам:

- 1) сдвигание массива горных пород в процессе отработки залежи;
- 2) изменение характеристик проницаемости массива горных пород перед началом добычных работ.

Геотехнологические способы по принципу извлечения полезного ископаемого:

- 1) методы селективной выемки;
- 2) методы, предусматривающие полную выемку пласта полезного компонента;

Характер проявлений горного давления при этих способах различен. При селективной выемке возможны два варианта:

- горное давление не оказывает существенного влияния (извлекается небольшая доля полезного ископаемого по объёму);
- горное давление оказывает существенное влияние, т.к. извлекается ощутимый процент полезного ископаемого.

При полной выемке пласта полезного компонента возможны способы УГД:

- 1) заполнение призабойного пространство флюидами под высоким давлением;
- 2) полное обрушением пород кровли полости.

Самым важным параметром геотехнологии является размер камер, так как от этого зависят извлечение, степень сдвигания массива, параметры технологического оборудования и т.п.

Производственные процессы геотехнологии

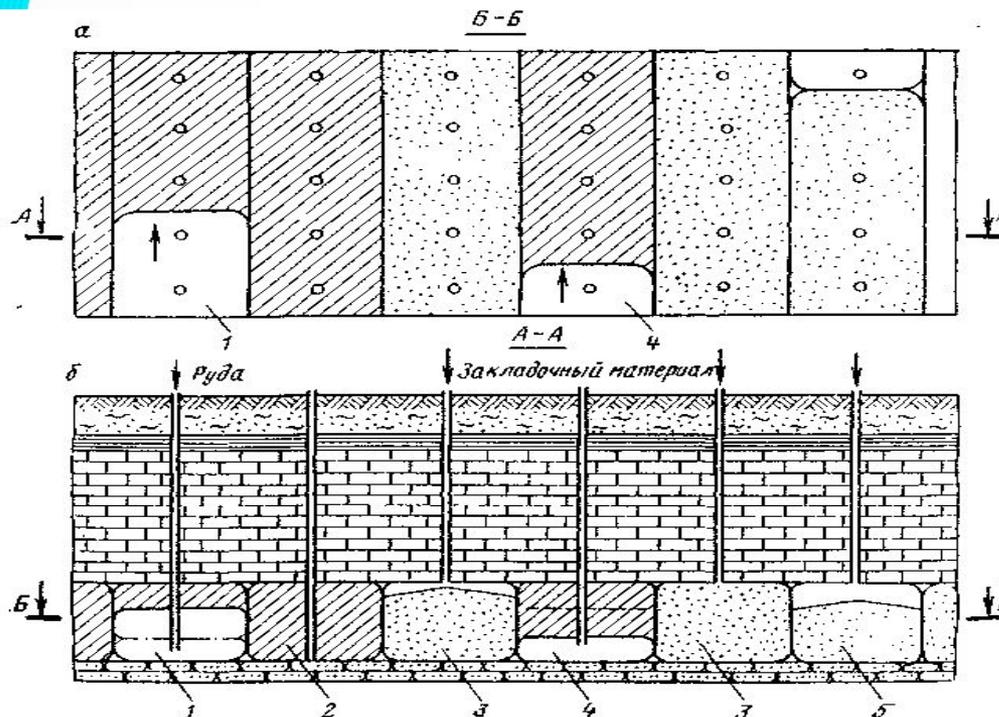
5. Процессы управления массивом горных пород при геотехнологии

- 2

Деформация подрабатываемого МГП при скважинной гидродобыче начинается с плавного прогиба.

По мере увеличения пролёта камер (более 14 м), начинается постепенное расслоение кровли и образование трещин. Дальнейшее увеличение размеров пролетов приводит к обрушению кровли.

Форма мульды сдвижения поверхности в плане представляет собой симметричную фигуру – воронку, образовавшуюся в результате отработки скважины. Заполнять отработанные камеры можно закладочным материалом из песка, дробленой породы или отходов производства.



Блоки

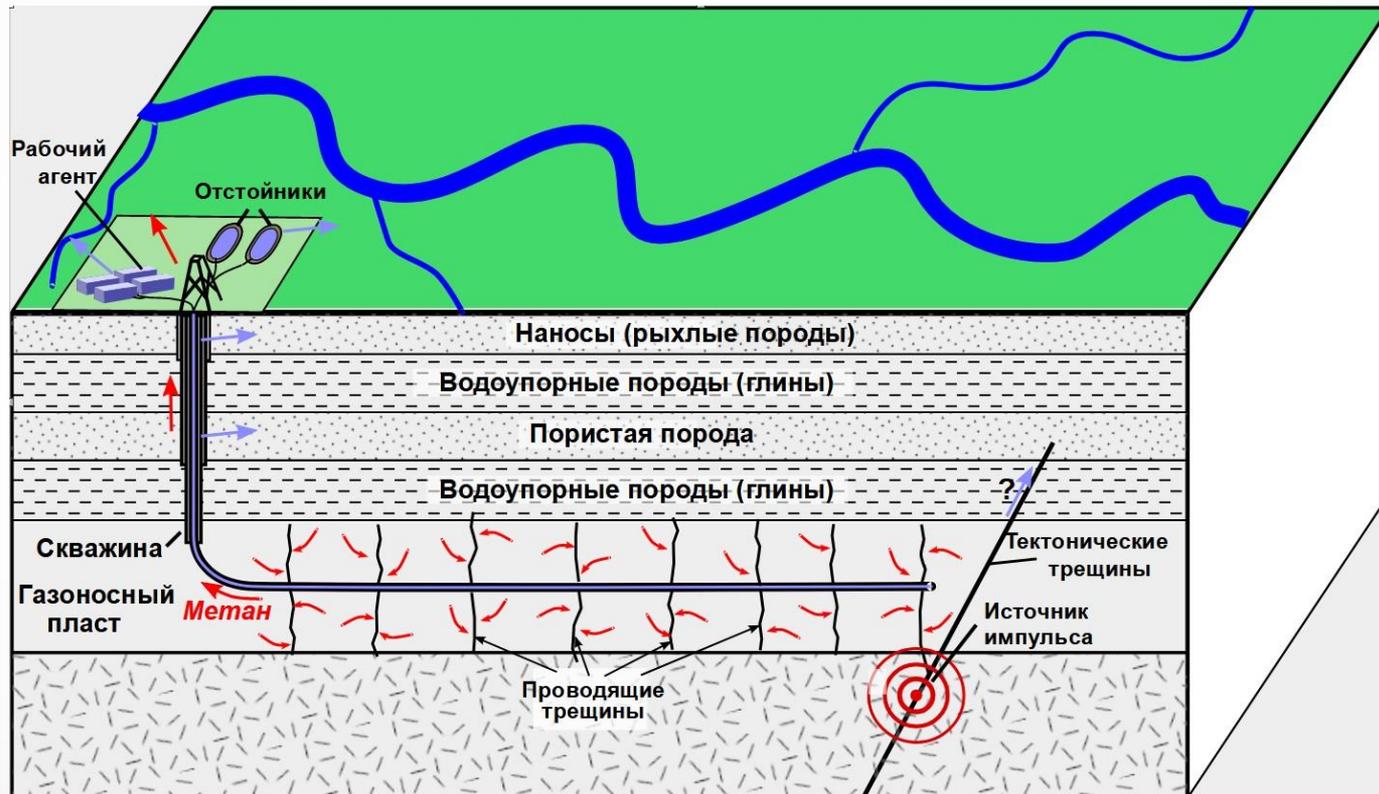
Отработка залежи фосфорит-содержащих песков ведется блоками. Разрабатываемый блок 1 обрабатывается через ряд геотехнологических скважин на всю длину блока. Отбойка руды ведётся слоями в восходящем порядке. Рядом блок образует целик 2. Следующий за целиком блок и блок, расположенный за очередным целиком, образуют закладываемые блоки 3. После заполнения блоков 3 закладочным материалом, слоями обрабатывают целики 4. Для полного исключения сдвижение массива, производят закладку отработанных целиков 5.

Принципиальная схема отработки залежи с закладкой выработанных блоков

Производственные процессы геотехнологии

5. Процессы управления массивом горных пород при геотехнологии

- Для создания в горном массиве фильтрационных каналов, обеспечивающих движение рабочих и продуктивных флюидов, используют **гидроразрыв пласта**.



Способы гидроразрыва: пневмо- и гидрорасчленение; использование энергии криогенных газов в различных режимах и сочетаниях; использование энергии взрыва; физико-химическое, электрическое, виброволновое и акустическое воздействие.

Производственные процессы геотехнологии

6. Транспорт п.и. от места добычи до места переработки

Транспортное оборудование предназначено для поставки продуктов добычи от скважины до места складирования или переработки. Это: насосные агрегаты, компрессорные и газо-воздушные агрегаты, сгустители, классификаторы, обезвоживатели, трубы и арматура, и т.п.

Иногда возникает необходимость в частичной переработке добытого продукта, его очистке от вредных примесей, предварительном обогащении и т.п. Эти процессы осуществляются на специальном оборудовании, набор которого зависит от конкретного геотехнологического способа разработки. К этой группе относят погрузочное и складское оборудование: экскаваторы, грейферные грузчики, краны и т.п.

7. Комплексная автоматизация производственных процессов

К средствам контроля технологического процесса геотехнологии и управления им относятся:

- 1) контрольно-измерительные приборы (КИП: асходомеры, термопары, манометры, дифманометры и др.);
- 2) средства автоматизации (датчики, усилители, преобразователи, исполнительные механизмы);
- 3) автоматизированные системы управления АСУ ТП.

Технические средства АСУ ТП включают контрольно-измерительные приборы и дистанционно управляемые исполнительные механизмы, а также средства автоматической обработки данных (вычисления, сбора, хранения и передачи информации).

Особенно важна проблема комплексной автоматизации производственных процессов при подземной выплавке серы, т.к. *необходимо на всём технологическом цикле поддерживать температурный режим в чётко ограниченном диапазоне.*

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 1

Вскрытием месторождения называется проведение (проходка) выработок, открывающих доступ с поверхности к рудному телу или к пластам полезного ископаемого и обеспечивающих возможность проведения подготовительных работ.

Выработки, обеспечивающие доступ к месторождению полезного ископаемого с поверхности Земли - основные вскрывающие выработки – при геотехнологии это скважина. Скважины по роли в вскрытии и разработке бывают: 1) для подготовки залежи к разработке и 2) служащие для транспортировки рабочих и продуктивных флюидов.

По своему назначению все *вскрывающие скважины* подразделяются на добычные и вспомогательные:

- вспомогательные скважины могут быть разведочными, водоотливными, оценочными и контрольными;
- добычные скважины предназначены для добычи полезного ископаемого.

По ориентации в пространстве добычные скважины бывают: вертикальные, наклонные или наклонно-горизонтальные, которые позволяют обрабатывать на одну скважину большие запасы, чем вертикальные.

Добычные скважины оборудуются эксплуатационными колоннами труб для 1) доставки к **продуктивной залежи** рабочего агента и 2) извлечения полезного ископаемого из недр.

Диаметр добычной скважины определяется конструктивными размерами её оборудования, а глубина — глубиной залегания полезного ископаемого.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 2

Как правило, одни и те же **скважины** являются одновременно вскрывающими, подготовительными и нарезными выработками, поскольку они 1) вскрывают месторождение, 2) подготавливают его к разработке и 3) используются для добычи полезного ископаемого.

Все добычные скважины обычно одинаковы, отрабатывают один ограниченный участок месторождения, поэтому для оценки вскрытия, подготовки и разработки (кроме *скважинной гидродобычи*) применяют одну скважину.

Общую характеристику горно-технических условий вскрытия залежи и экономической эффективности принятой системы вскрытия дает **коэффициент вскрытия**.

Различают коэффициенты вскрытия: **геологический**, **технологический** и **экономический**.

Геологический коэффициент вскрытия – отношение мощности покрывающих пород к мощности пласта (характеризует глубину вскрытия): м/м

Технологический коэффициент вскрытия - отношение длины скважины на тонну добываемых запасов (характеризует трудоемкость вскрытия): м/т

Экономический коэффициент вскрытия - отношение затрат на сооружение и оборудование добычной скважины к стоимости полезного ископаемого (характеризует экономическую эффективность применяемой системы вскрытия): р/р

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 3

Вскрытие месторождения геотехнологическими скважинами состоит из ряда последовательно выполняемых операций:

- 1) выбор места заложения скважины и уточнение конструкции скважины;
- 2) бурение скважины;
- 3) крепление скважины или обсадка и цементация скважины;
- 4) опресовка скважины;
- 5) геологические, гидрогеологические и геофизические исследования скважин;
- 6) оборудование скважин для эксплуатации;
- 7) оформление документации и сдача скважины в эксплуатацию.

Назначение операций

- 1) **Выбор места заложения скважин** всегда связан с применяемой на данном участке или месторождении системой разработки. Отклонение от проектного места заложения скважины может нарушить работу соседних скважин и вызвать повышенные потери рабочего агента и полезного ископаемого в недрах. Уточнение конструкции скважин нужно для учета новых геологоразведочных данных, полученных перед бурением скважины. Уточняются также места расположения пакеров, фильтров и т.д., а также глубина опресовки скважины.
- 2) **Бурение геотехнологических скважин** незначительно отличается от бурения нефтяных, газовых и других типов скважин. **Особенность** - при бурении геотехнологических скважин осуществляют отбор керна по продуктивной залежи и на несколько метров в боковых породах над и под ним, а бурение по продуктивной толще ведётся с промывкой чистой водой.
- 3) **Обсадка и цементация скважин** иногда ещё называются креплением. Следовательно, крепление скважин выполняется в два этапа: спуск обсадной колонны и цементация затрубного пространства.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 4

Обсадные трубы в процессе работы **испытывают** следующие виды нагрузок:

- наружное давление горных пород;
- внутреннее давление текущих по трубам флюидов;
- продольное растяжение и изгиб труб под действием собственного веса;
- напряжения, возникающие в результате температурного удлинения.

Наиболее предпочтительны в качестве обсадных **сварные трубы**, так как они обладают следующими преимуществами:

- уменьшается зазор между стенками скважины и наружным диаметром колонны за счёт отсутствия муфт между трубами;
- увеличивается прочность и герметичность обсадной колонны;
- значительная экономия металла и цемента.

Цементация добычных скважин — важнейший процесс при подготовке их к эксплуатации, так как она обеспечивает **герметичность** и, следовательно, успешную их работу. Цементация **защищает** также колонну обсадных труб от воздействия агрессивных высокоминерализованных пластовых вод. Объёмы цементации, марки используемого цемента, вид наполнителя, конструкция возводимой крепи зависят от конкретного геотехнологического способа разработки и типа месторождения полезного ископаемого. Обычно используют цементы марки 300-500. При геотехнологических способах, связанных с высокой температурой протекающих процессов, используются специальные термостойкие цементы.

При цементации в глинистых и соляных породах цементный раствор приготавливается не на пресной воде, а на насыщенном водном растворе соли (до 360 кг/м скважины). Промывка скважин перед цементацией и продавка цемента после окончания тампонажа также ведётся насыщенным раствором поваренной соли.

После окончания работ по цементации обсадной колонны скважину оставляют для ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) на 16-24 часа. Для ускорения затвердевания в цемент добавляют ускорители схватывания, например, жидкое стекло.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 5

Опресовка скважин – это испытания скважин на герметичность, которую проводят в три приёма:

- испытание герметичности обсадной колонны, которое проводится после затвердевания цемента;
- испытание герметичности цементации, которое выполняют после разбуривания цементного башмака в трубе и под обсадной колонной под давлением вдвое больше давления рабочего агента;
- испытание герметичности скважины в целом, которое производится после окончания проходки.

Испытания герметичности проводят водой, нагнетаемой в скважину поршневым насосом бурового станка, а при значительной приемистости скважины – центробежным насосом. При затрубных появлениях воды (негерметичности) приступают к повторной цементации, которое называют «лечением» скважин.

Исследования скважин проводят после окончания бурения перед их оборудованием. При этом производится опробование рудного пласта как по кернам, так и геофизическими методами.

Кроме этого, проводят гидрогеологические исследования с целью выявления дебита воды, времени восстановления уровня, качества воды и т.д.

Оборудование скважин зависит от конкретного геотехнологического способа и определяется проектом.

Оформление документации и сдача скважины в эксплуатацию являются завершающей операцией вскрытия:

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 6

Способ вскрытия месторождения	Область применения
1 Отдельной скважиной: а) вертикальной б) наклонной, наклонно-горизонтальной	Скважинная гидродобыча (устойчивые покрывающие породы), подземное растворение солей (мощные залежи). Скважинная гидродобыча (неустойчивые покрывающие породы)
2. Группой скважин: а) спаренными б) взаимодействующими (вертикальными, наклонными и вертикальными)	Скважинная гидродобыча (небольшая глубина залегания), подземное растворение солей, добыча тепла Земли. Подземное выщелачивание металлов, выплавка серы, газификация угля (залежи небольшой мощности)
3. Горной выработкой и скважинами: а) скважинами из подземных выработок; б) скважинами с поверхности и из подземных выработок; в) подземными горными выработками	Отработка локальных рудных тел в сочетании с традиционной технологией добычи

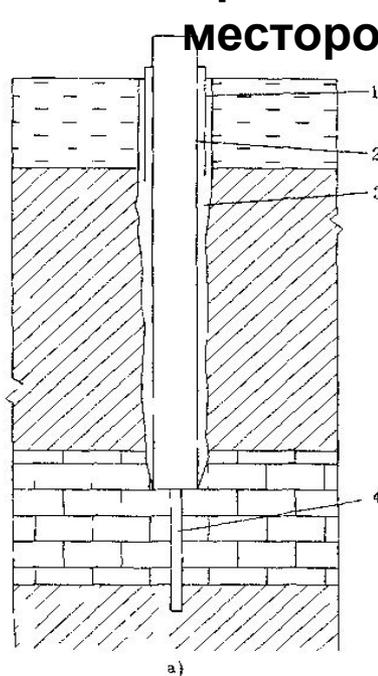
Выбор способа вскрытия зависит от следующих факторов:

- 1) технологическая схема разработки;
- 2) размеры месторождения в плане;
- 3) условия залегания залежи (мощность, угол падения, глубина залегания);
- 4) физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород;
- 5) рельеф поверхности.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

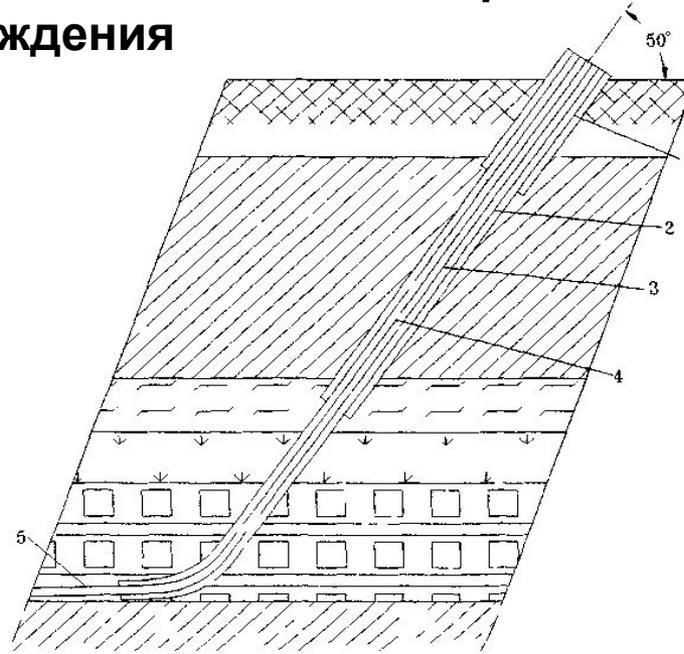
1. Геотехнологические способы вскрытия месторождений - 7

Принципиальные схемы вскрытия месторождения



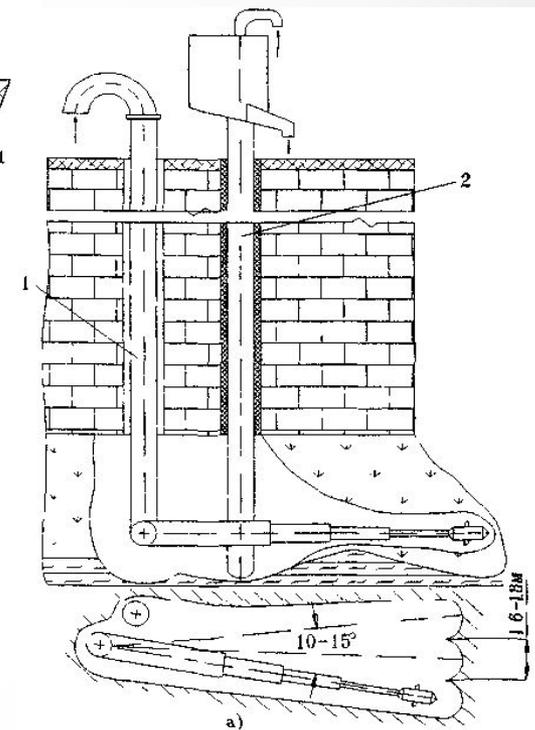
Отдельной вертикальной скважиной:

- 1- кондуктор;
- 2- колонна обсадных труб;
- 3 - затрубное пространство;
- 4- продуктивная толща



Отдельной наклонно-горизонтальной скважиной:

- 1- направляющая колонна;
- 2 - промежуточная колонна (до кровли залежи);
- 3- обсадная колонна (до почвы залежи);
- 4 - водоподающая колонна;
- 5 – каменная соль.



Спаренными вертикальными скважинами при СГД:

- 1- гидромониторная скважина;
- 2 – эрлифтная скважина.

Схемы вскрытия горной выработкой и скважинами не являются в полном смысле геотехнологическими, так как требуют наличия горных выработок.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений - 1

Система разработки месторождений полезных ископаемых геотехнологическим способом - это порядок расположения, проходки и включения в работу добычных и вспомогательных скважин, увязанный в пространстве и времени для получения максимального эффекта при минимальных затратах. Технологические и экономические требования к системам разработки:

- обеспечение заданного уровня извлечения;
- обеспечение заданного уровня добычи;
- достижение минимальной себестоимости;
- обеспечение экологической чистоты.

Система разработки определяется (1) сеткой расположения скважин, которая зависит от горно-геологических условий; (2) способом отделения от массива полезного ископаемого, (3) способа управления горным давлением.

Индекс системы	Название системы разработки	Технологическая схема
I	Скважинами - камерами	Отдельными скважинами
		Сдвоенными скважинами
II	Взаимодействующими скважинами	Рядами
		Ячейками
III	Скважинами и подземными выработками	Скважинами с поверхности и выработками
		Выработками и скважинами из них.
IV	Традиционная	Орошение магазина
		Орошение отработанных блоков

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 2

Понятие **система разработки** при скважинной гидродобыче поясняет понятие **очистной забой – место, где выполняются основные процессы по добыче полезного ископаемого.**

Форма очистного забоя, последовательность и направление очистной выемки, во многом определяются используемым оборудованием и приёмами ведения технологического процесса.

Например, при способе скважинной гидродобычи (СГД) в очистном забое выполняются практически все основные производственные процессы, осуществляемые и в очистном забое традиционной шахты или рудника: отбойка, доставка и управление кровлей. В этом перечне отсутствует процесс крепления кровли, но и при большинстве рудных систем разработки он также отсутствует.

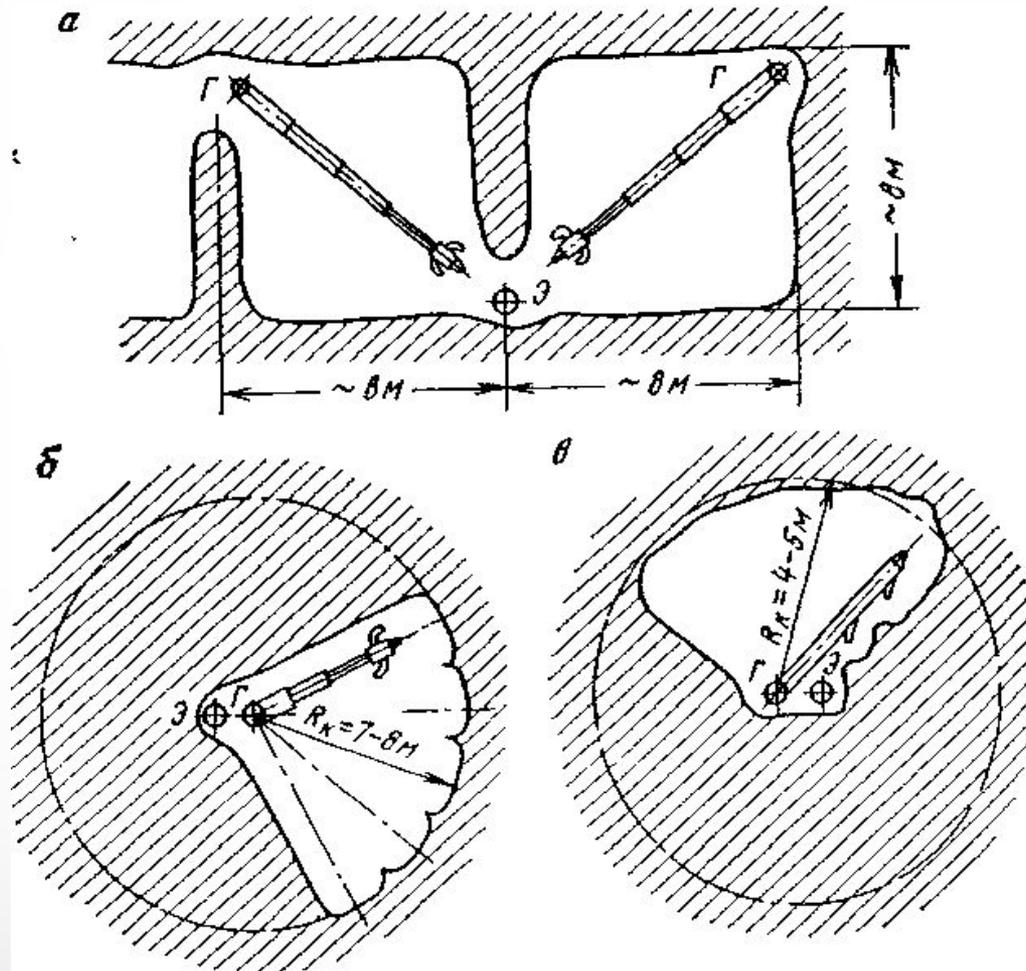
В СГД определяющие элементы технологии:

- (1) технологические схемы выемки руды, различающиеся по направлению действия гидромониторной струи и
- (2) схемы доставки разрушенной руды к всасу выдачного (подъемного) устройства.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 3

При СГД различают технологические схемы выемки руды в камере выемки: встречным, попутным, совмещенным забоями и комбинированный способ выемки (относительно направления движения смывающей струи).



Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 4

При комбинированном способе выемки две рядом расположенные камеры обрабатываются по схеме встречным или совмещённым забоями, а отработка междукамерного целика и смыв отбитой руды с почвы камеры ведутся по схеме попутного забоя.

Тем не менее, при углах падения залежи менее 5° необходимо организовать принудительную доставку разрушенной руды к всасу пульпо-подъёмного механизма либо созданием искусственного уклона в почве камеры, что сопровождается разубоживанием руды, либо смывом гидромониторной струёй.

При углах падения залежи более 5° доставка разрушенной руды осуществляется самотёком.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ

(наиболее распространённая - по способу управления горным давлением):

- системы с открытым очистным пространством;
- системы с обрушением или плавной посадкой вмещающих пород;
- системы с закладкой выработанного пространства.

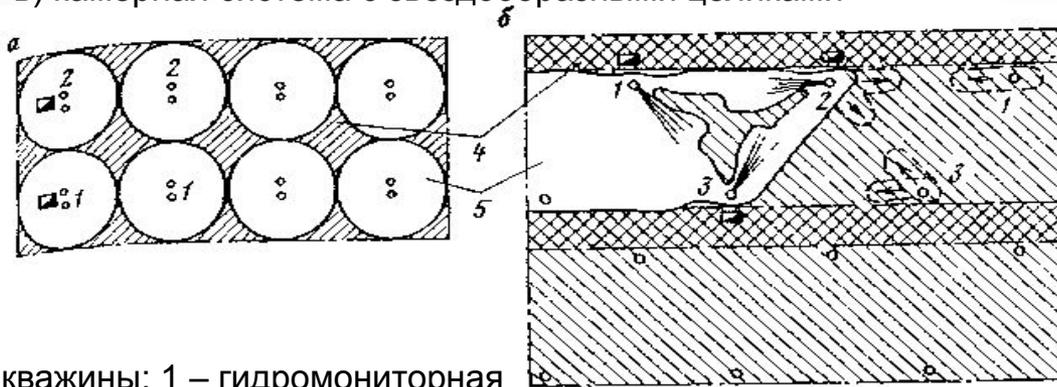
Форма выработанного пространства при скважинной геотехнологии бывает круглой при одиночных добывающих скважинах, а при взаимодействующих — любой, что определяется расположением добычных скважин друг относительно друга, контурами залежи и формой, размещением и размерами целиков.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 5

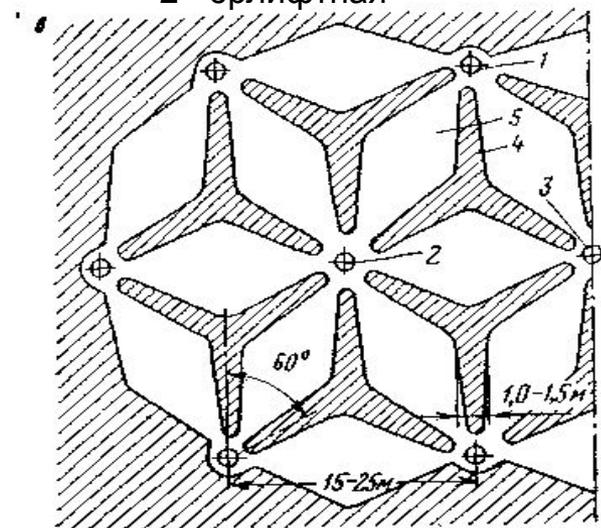
Варианты систем разработки СГД с открытым очистным пространством

- а) камерная система с целиками; б) блоковая система с ленточными целиками;
в) камерная система с звездообразными целиками



Скважины: 1, 2, 3 – добычные
4 - целик
5 - блок (камера)

Скважины: 1 – гидромониторная
2 - эрлифтная



Расстояние между добычными скважинами зависит от многих факторов и составляет от 15 до 25 м.

Системы с открытым очистным пространством применяются при устойчивых покрывающих породах для предотвращения разрушения зданий и сооружений на поверхности

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 6

Обычно системы с открытым очистным пространством применяются при устойчивых покрывающих породах.

При мощности залежи 2-3 м выемка руды осуществляется сплошным забоем, при большей – слоями. При этом слои оформляются таким образом, чтобы уклона почвы в них было достаточно для самотёчной доставки разрушенной руды.

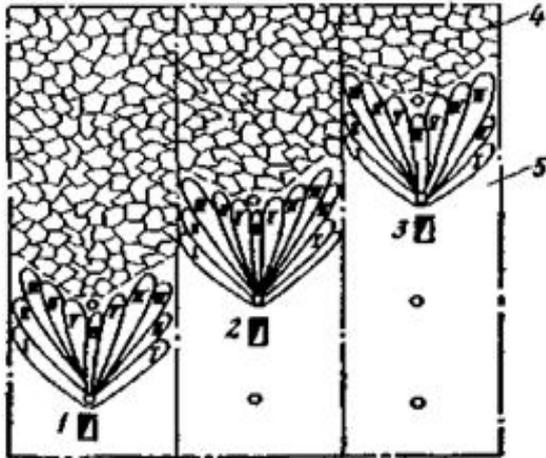
Коэффициент извлечения руды при системах с открытым очистным пространством зависит от горно-геологических и горнотехнических факторов и составляет 50-70 %.

Достоинство систем с открытым очистным пространством: добычные агрегаты располагаются над целиками, причём добыча осуществляется, в основном, попутным забоем.

В зависимости от стадийности отработки залежи в камере, различают следующие технологические схемы: сплошным, почвоуступным и потолкоуступным забоями

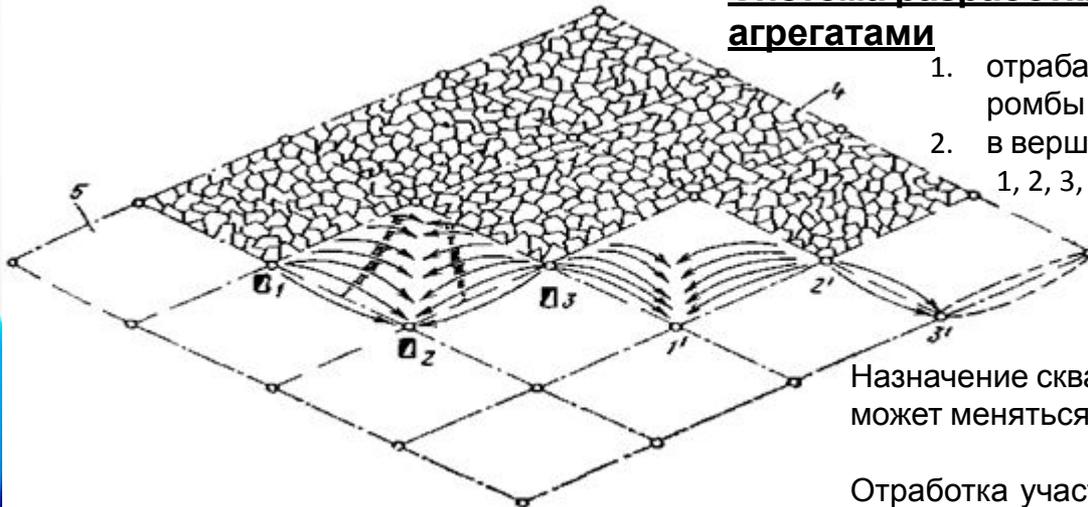
Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 7



Система разработки отдельными агрегатами

1. Отработка ведётся полосами по падению - одновременно одна или несколько полос.
2. Добычные скважины 1, 2, 3 бурятся по центру полосы.
3. Отработка участка 5 ведётся заходками I-VI от границ полосы к центру.
4. После выемки заходок происходит обрушение или плавное опускание вмещающих пород 4.
5. Выемка руды в нескольких одновременно обрабатываемых полосах ведётся обычно с опережением на одну скважину.



Система разработки с взаимодействующими агрегатами

1. обрабатываемый участок залежи делят на ромбы
2. в вершинах ромбов бурят добычные скважины 1, 2, 3, 1', 2', 3'.

Скважины 1 и 3 гидромониторные, скважины — 2, 1', 3' — эрлифтные. Отработка ромбов - по падению.

Назначение скважин (гидромониторных и эрлифтных) может меняться.

Отработка участка ведётся заходками I-VI, начиная снизу вверх.

3. После отработки последней заходки VI происходит обрушение или плавное опускание вмещающих пород 4.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 8

Системы разработки с обрушением или плавным опусканием вмещающих пород применяются для выемки пластов, залегающих под неустойчивыми или пластичными породами. При необходимости возможно применение способов принудительного обрушения кровли гидроразрывом, взрывным торпедированием или другими т.п. Для уменьшения скорости обрушения кровли возможно оставление временных или податливых целиков. Вскрытие возможно наклонными скважинами, расположенными за пределами зоны сдвижения покрывающих пород. Это позволяет существенно увеличить объём добычи из одной скважины и обеспечить полную безопасность ведения горных работ.

Системы разработки скважинной гидродобычи с закладкой выработанного пространства обычно применяют для добычи особо ценных руд, когда не допускается оставление целиков, или когда необходимо исключить или значительно уменьшить оседание земной поверхности. Один из возможных вариантов системы разработки с закладкой выработанного пространства приведён на сл.59

Область применения этих систем может увеличиться, если вместо закладочного материала применять соответствующим образом подготовленные бытовые и вредные промышленные отходы.

Отработка залежи может вестись на всю мощность или слоями, но закладка возводится одновременно на всю мощность залежи снизу вверх.

После окончания отработки и заполнения камер закладочным материалом приступают к погашению межкамерных целиков (с закладкой или без закладки).

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

2. Геотехнологические системы разработки месторождений – 9

При технологии подземного выщелачивания выделяют три группы систем разработки, отличающихся схемой расположения скважин:

- 1) площадные (ячеистые) системы;
- 2) линейные системы;
- 3) комбинированные системы

Площадные (ячеистые) системы расположения скважин характерны наличием отдельных ячеек по всей площади залежи, при этом на каждую ячейку бурится одна откачная и несколько закачных скважин.

Линейные системы расположения скважин отличаются чередованием рядов откачных и закачных скважин.

Комбинированные системы расположения скважин включают элементы площадных и линейных систем. К комбинированным системам относятся также системы с пемзованием вертикальных и горизонтальных противо-фильтрационных завес, предотвращающих некоторые негативные особенности применяемых систем разработки.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

Основы выбора геотехнологических систем разработки

Выбрать систему разработки — значит определить направление отработки залежи в целом и установить сетку размещения скважин.

Основными элементами системы разработки являются:

- 1.направление отработки,
- 2.сетка скважин,
- 3.порядок ввода скважин в эксплуатацию во времени и пространстве.

При выборе элементов системы разработки необходимо учитывать:

- глубина залегания залежи;
 - технологичность процесса добычи;
 - извлекаемость полезного ископаемого;
 - производительность пласта;
 - условия залегания;
 - неоднородности пласта;
- 1.рельеф почвы залежи.

Математически проблема выбора более рациональной системы разработки сводится к максимизации целевой функции при наличии начальных и конечных условий.

Максимизируемой функцией обычно служит прибыль.

Вскрытие и системы разработки месторождений геотехнологическими способами

Оценка эксплуатационных потерь полезного ископаемого при геотехнологии

Степень извлечения непосредственно зависит от системы разработки.

Технически возможно извлекать 100 % запасов, но это экономически не оправдано.

Как правило, геотехнологические способы отличаются небольшой степенью извлечения, однако возможна повторная отработка месторождения.

Обычно пользуются **текущим**, **конечным** и **максимальным** коэффициентами извлечения. Соответственно текущий — в момент добычи; конечный — к моменту завершения добычи; максимальный — предельно возможный.

Оценка вариантов разработки с учётом потерь полезного ископаемого приводится на основе учёта ценности обрабатываемого месторождения

Следовательно, при выборе варианта технологической схемы добычи необходимо соизмерять размеры экономического выигрыша и экономического ущерба, связанных со структурой и величиной потерь полезного ископаемого.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

12.1 Подземное растворение полезных ископаемых

Подземное растворение — способ добычи полезных ископаемых через скважины путём перевода в водный раствор одного или нескольких компонентов.

Одновременно с добычей при подземном растворении осуществляются обогащение, очистка (для поваренной соли) и избирательное извлечение (для калийных солей).

В настоящее время подземному растворению подвергают каменную и калийную соли, а также бишофит и боросолевые руды. Следующие соли являются перспективными для подземного растворения: галит (NaCl), сильвин ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$), каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), кизерит ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Сущность способа подземного растворения заключается в следующем. Толщу пород пересекают скважиной, которую обсаживают колонной труб. По водоподающей колонне в скважину поступает пресная вода, которая растворяет соль. Под давлением растворяющей жидкости образовавшийся рассол поднимают на поверхность по рассолоподъёмной колонне труб.

Горнодобывающие предприятия, осуществляющие добычу соли способом подземного растворения, называются рассолопромыслами. В состав рассолопромысла входит комплекс наземных и подземных производственных объектов, обеспечивающих непрерывную добычу и подачу рассола потребителю. Схема расположения наземных сооружений рассолопромысла приведена на рис.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

12.1 Подземное растворение полезных ископаемых - 2

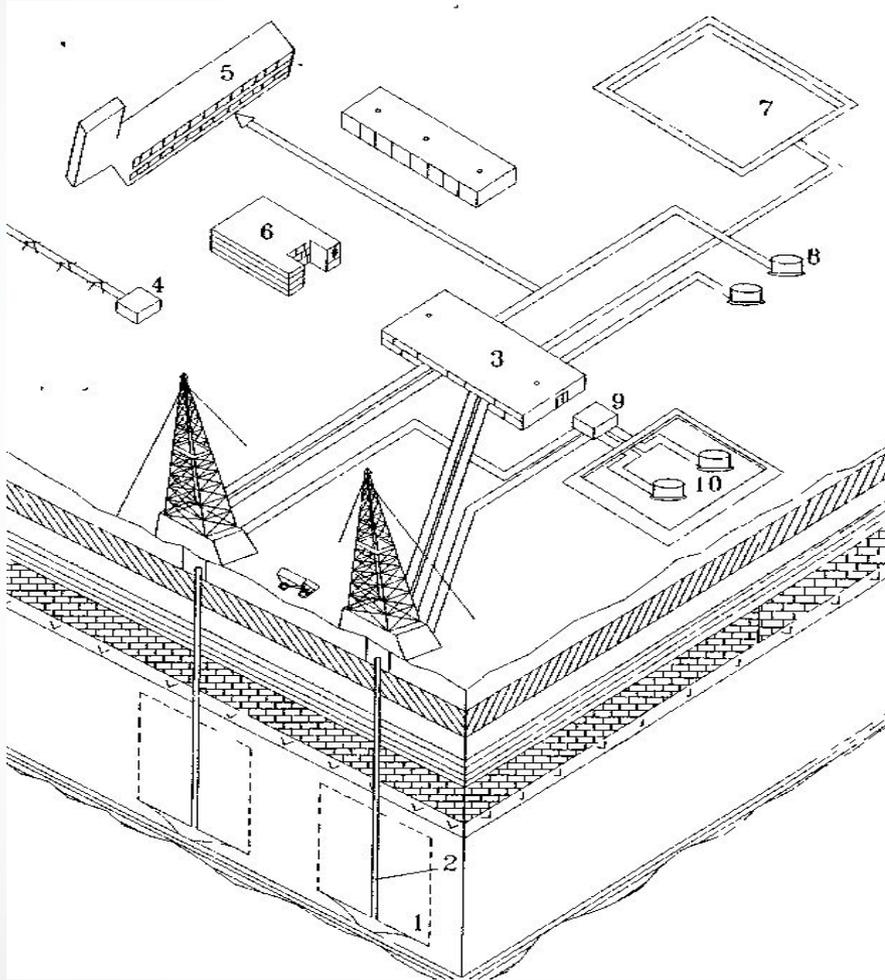


Схема сооружений
рассолопромысла

Отработка залежи ведется камерами 1 через добычные скважины 2.

Подача воды в камеры и откачка рассола осуществляется насосной станцией 3 с контрольно-распределительным пунктом.

Подача электроэнергии потребителям осуществляется линией электропередачи через трансформаторную подстанцию 4.

На поверхности рассолопромысла располагаются завод-потребитель 5,

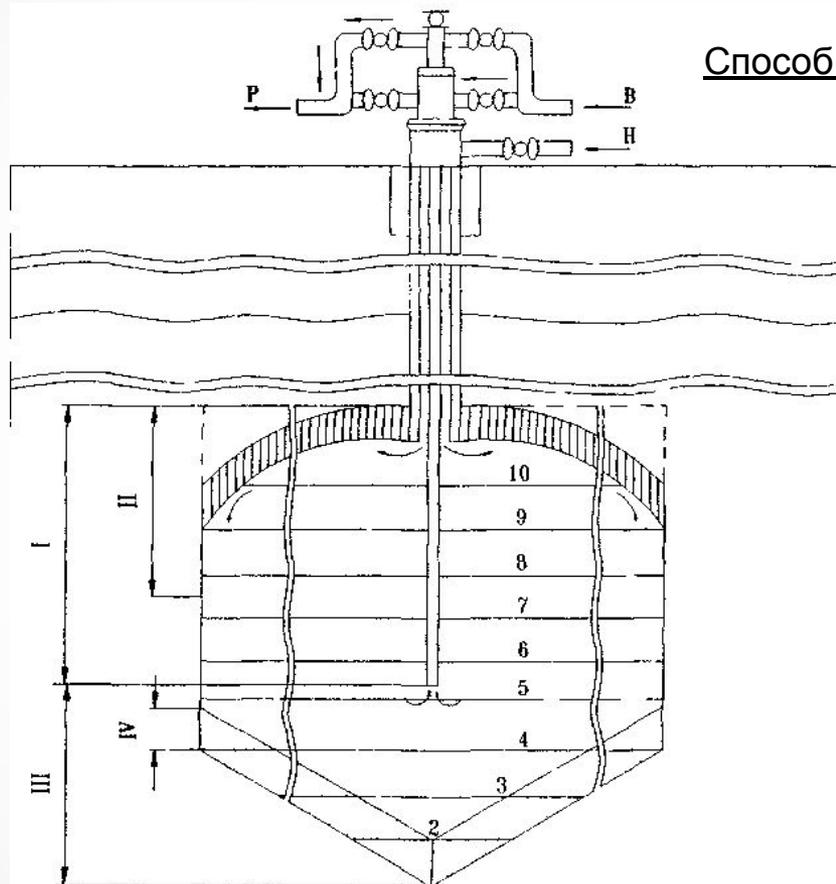
административное здание 6, хранилище слабых рассолов 7, резервуар воды и рассола 8, насосная станция нерастворителя 9, резервуары нерастворителя 10

Схемы вскрытия при подземном растворении могут быть вертикальными, наклонными и наклонно-горизонтальными скважинами. Рассол обычно поднимают по вертикальной скважине.

При использовании наклонных скважин извлечение может превышать 50 %.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное растворение полезных ископаемых – 3



Послойная выемка камер при подземном растворении солей: В – вода, Р – раствор, Н – нерастворитель, I – активная зона, II – зона формирования рассола, III – зона консервации, IV – зона закладки

Высота слоя составляет 5 - 15 м, а диаметр — 100 м

Способ послойного (ступенчатого) растворения

отработка залежи соли производится снизу вверх отдельными горизонтальными слоями (ступенями). Высота слоя составляет 5 - 15 м, его диаметр — 100 м.

Слои (ступени) пронумерованы цифрами 1-10.

После образования гидровруба на первой ступени, водоподводящую колонну труб поднимают до отметки верхней границы второй ступени, а рассолоподъемную — на высоту, обеспечивающую возможность получения чистых рассолов. Одновременно систематически подают жидкий нерастворитель.

Кровля каждого слоя изолируется слоем нерастворителя; за его уровнем ведётся постоянный контроль. Это позволяет извлекать из каждого слоя заранее заданное расчётное количество соли и управлять процессом формообразования камер.

В камере выделяется четыре зоны: активная, формирования рассола, консервации, закладки.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное растворение полезных ископаемых – 4

Подробности:

Выделяют **два этапа** в работе камер: подготовительный и эксплуатационный.

На подготовительном этапе длительностью 360-540 суток создают начальную поверхность растворения соли путём размыва горизонтальной полости небольшой высоты — гидровруба, для получения промышленной производительности камеры по кондиционному рассолу.

Дальнейший размыв полости производят ступенями, количество которых и высоту определяют горно-геологическими условиями месторождения, качественной характеристикой соли и заданным временем размыва.

При зашламовании нижней части рассолозаборной колонны применяют реверсивный режим работы скважины: прямоток меняют на противоток и наоборот до удаления шлама.

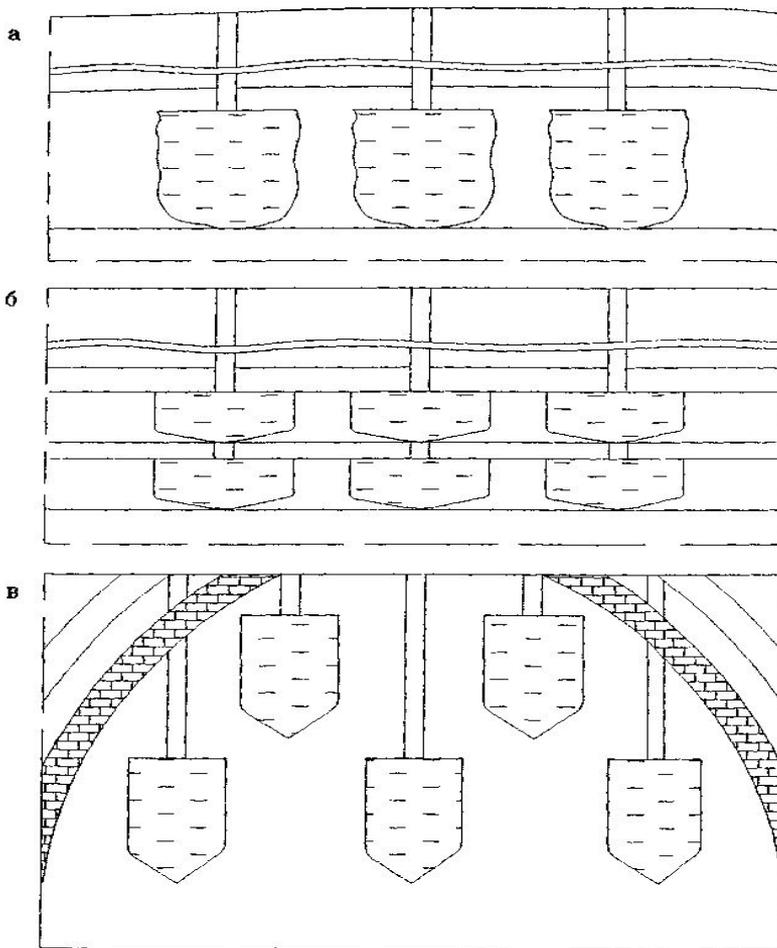
На эксплуатационном этапе осуществляют добычу полезного ископаемого.

Его начинают после образования камеры заданной ёмкости и формы и выхода рассола с концентрацией 305 г/л. После этого прекращают подачу воды, выпускают нерастворитель и приподнимают технологические колонны. Башмаки их устанавливают на уровне кровли очередного слоя, а положение рассолоподъёмной колонны определяют высотой зоны закладки камеры нерастворимыми включениями.

После этого скважину вновь заполняют нерастворителем и процесс возобновляют

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное растворение полезных ископаемых – 5



Варианты размещения камер при подземном растворении солей индивидуальными скважинами

В зависимости от порядка отработки и способа управления горным давлением системы бывают: *камерного, батарейного или сплошного* растворения.

При камерном растворении отработку ведут камерами через индивидуальные или взаимодействующие скважины, между которыми оставляют целики для недопущения деформаций поверхности.

На пластах простого строения используют систему с размещением камер в пределах всей разрабатываемой толщи пласта (а).

На пластах сложного строения или сближенных используют камерно-этажную систему с соосным размещением камер в пределах мощности каждой пачки или всего пласта (б).

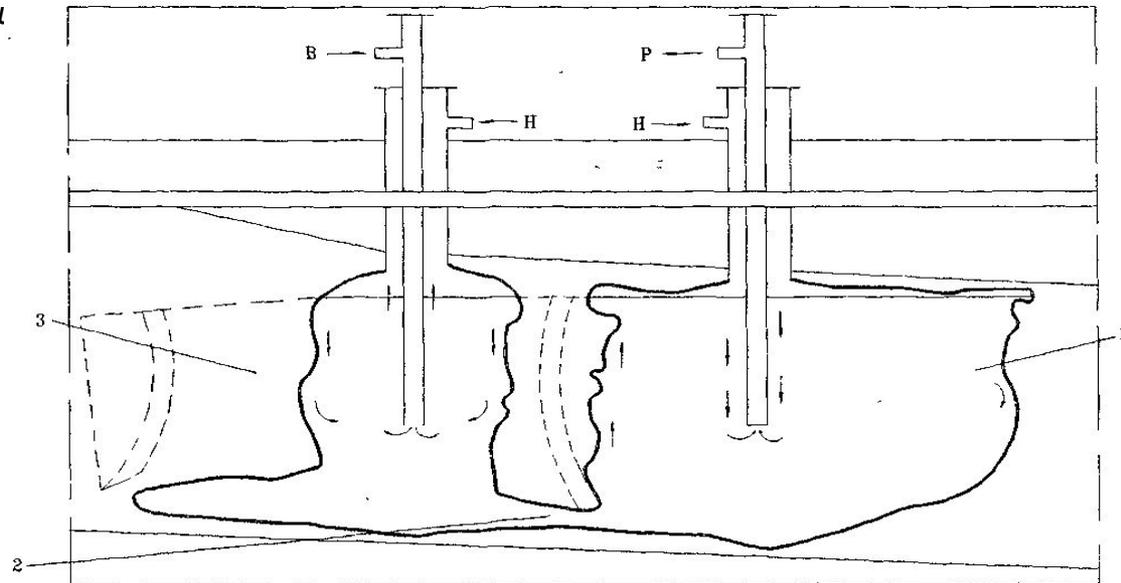
Для мощных соляных залежей, куполов и месторождений сложной формы залегания используют камерно-этажную систему с несоосным размещением камер (в).

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное растворение полезных ископаемых – 6

При камерной системе разработки взаимодействующими скважинами обработка ведётся сдвоенными скважинами. При этой системе на подготовительном этапе скважины размываются индивидуально, а на эксплуатационном, после сбойки взаимодействующих скважин размывом или гидроразрывом — совместно. При этом скважины используются поочередно: то как водоподающая, то как рассолозаборная. Этот способ не нашёл широкого распространения из-за *сложности поддержания уровня нерастворителя на заданной глубине*.

Батарейная система разработки предусматривает поэтапную обработку камер через взаимодействующие скважины, как на рис. справа. Вначале обработка камер ведётся через индивидуальные скважины, а затем, после сбойки, новые камеры подключаются к объёмам действующих камер.



Батарейная система поэтапной обработки камер через взаимодействующие скважины: В — вода; Р — раствор; Н — нерастворитель

Камера первого этапа 1 с помощью канала-сбойки 2 соединяется с камерой 3, обрабатываемой у подключенной скважины. Вода (В) подаётся в скважину второго этапа, а раствор (Р) отбирается из скважины первого этапа. Нерастворитель (Н) подаётся в обе скважины одновременно

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное растворение полезных ископаемых – 7

При системе сплошного растворения участок месторождения вскрывают группой скважин, которые соединяют между собой у подошвы залежи гидроразрывом или гидроврубом для образования единого искусственного рассольного горизонта. Отработку залежи ведут подачей воды в водоприёмные скважины, расположенные со стороны восстания пласта, и отбора рассола из рассолозаборных скважин, расположенных со стороны падения.

При отработке свиты пластов или пластов сложного строения подачу воды осуществляют первоначально в нижние пласт или пачку.

Вовлечение в отработку верхних пластов соли происходит при естественном обрушении пропластков несолевых пород, разделяющих продуктивные пласты. Если это обрушение не происходит, проводят перфорацию обсадных колонн водоприёмных скважин

Обычно сплошную систему разработки применяют для отработки маломощных залежей, при которой возможно минимизировать деформации (просадки) земной поверхности.

Параметры подземных камер определяются расчётным путём и ежегодными гидролокационными съёмками. Камеры подземного растворения отличаются высокой устойчивостью, поэтому их используют для подземного хранения нефтепродуктов и сжиженных газов, а также захоронения токсичных отходов производства.

Способ подземного растворения солей получил широкое распространение в мировой горнодобывающей промышленности. Основная часть добычи каменной соли для содовой, хлорной, пищевой и других отраслей промышленности обеспечивается именно этим способом. Например производительность труда при подземном растворении в 4 раза выше, а удельные капитальные затраты в 7 раз ниже, чем при шахтном способе добычи.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземная выплавка серы – ПВС

Возможны четыре геотехнологических способа получения серы из самородных руд:

- выплавка горячей водой;
- возгонка или экстракция;
- выплавка за счёт сжигания части серы;
- выплавка токами высокой частоты.

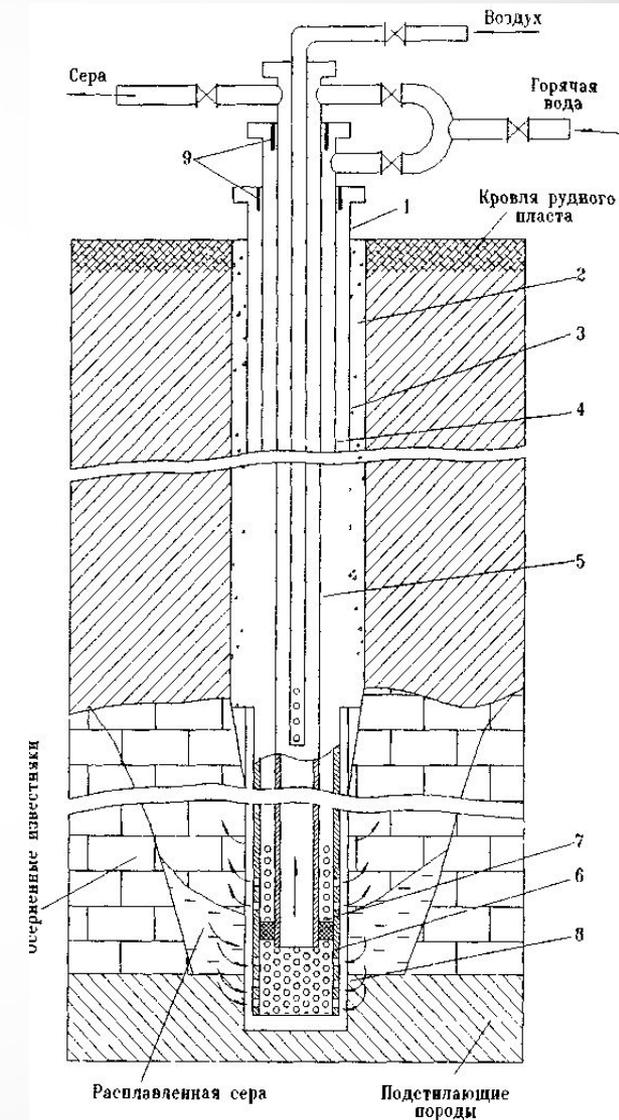
Широко применяется только подземная выплавка серы горячей водой, на которую приходится 83 % всей добычи геотехнологическими способами.

Процесс добычи основан на теплообмене между теплоносителем (горячая вода), подаваемым через скважины с поверхности, и сероносным рудным массивом.

При этом используется свойство серы плавиться при температуре 112,8 - 119°C.

Способ ПВС основан на бурении скважин с поверхности обычными буровыми станками, их обсадке трубами до серосодержащей залежи и цементации скважины.

Принципиальная схема добычной скважины дана на рис.



Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 1

Наиболее широко подземное выщелачивание применяется при добыче урана: 45% всего урана, добытого в мире в 2012 году.

Подземное выщелачивание (ПВ) – геотехнологический способ добычи урана методом избирательного растворения урана химическими реагентами из руд на месте их залегания и последующего извлечения из урансодержащих растворов.

Очевидны преимущества способа ПВ перед традиционными открытой и подземной разработкой:

- 1) вовлечение в разработку бедных, убогих и забалансовых руд, и месторождений со сложными условиями залегания с большими запасами урана, причём с вполне приемлемой стоимостью единицы конечной продукции, что значительно расширяет сырьевую базу;
- 2) снижение в 2-4 раза капитальных вложений на строительство предприятий и сокращение сроков строительства предприятия;
- 3) повышение в 2-4 раза производительности труда по конечной продукции и сокращение численности работающих;
- 4) существенное улучшение условий труда на предприятиях, добывающих уран;
- 5) уменьшение отрицательного воздействия на окружающую среду, особенно на поверхность Земли и воздушный бассейн.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 2

Основные условия для применения метода ПВ:

- подлежащий извлечению металл присутствует в рудах в форме минералов, *легко разрушающихся слабыми водными растворами* выщелачивающего реагента;
- входящие в состав руд породобразующие материалы имеют *низкую кислотоёмкость* в условиях взаимодействия с технологическими растворами,
 - руды либо обладают достаточной естественной проницаемостью, либо могут быть растворопроводящими после искусственного раздробления;
- условия залегания руд и горнотехническая обстановка в районе месторождения пригодны для осуществления всех процессов геотехнологии.

Системы разработки методом ПВ различают по признакам:

- принципиальная схема вскрытия месторождения;
- способ подготовки рудной залежи к выщелачиванию (обеспечение проницаемости);
- схема движения растворов.

Подготовка месторождения к отработке способом ПВ через скважины, пробуренные с поверхности, включает кроме бурения и обвязки скважин поверхностными коммуникациями, оснащение узлов рабочим (технологическим и контрольно-измерительным) оборудованием и приборами, а также первую стадию закисления эксплуатационного блока, создание временных гидрозавес для ограничения движения или направления растворов, и в ряде случаев расчленение рудовмещающих пород гидроразрывом для обеспечения их растворопроводности.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 3

По условиям движения растворов выделяются схемы:

фильтрационная,
инфильтрационная
пульсационно-статическая схемы.

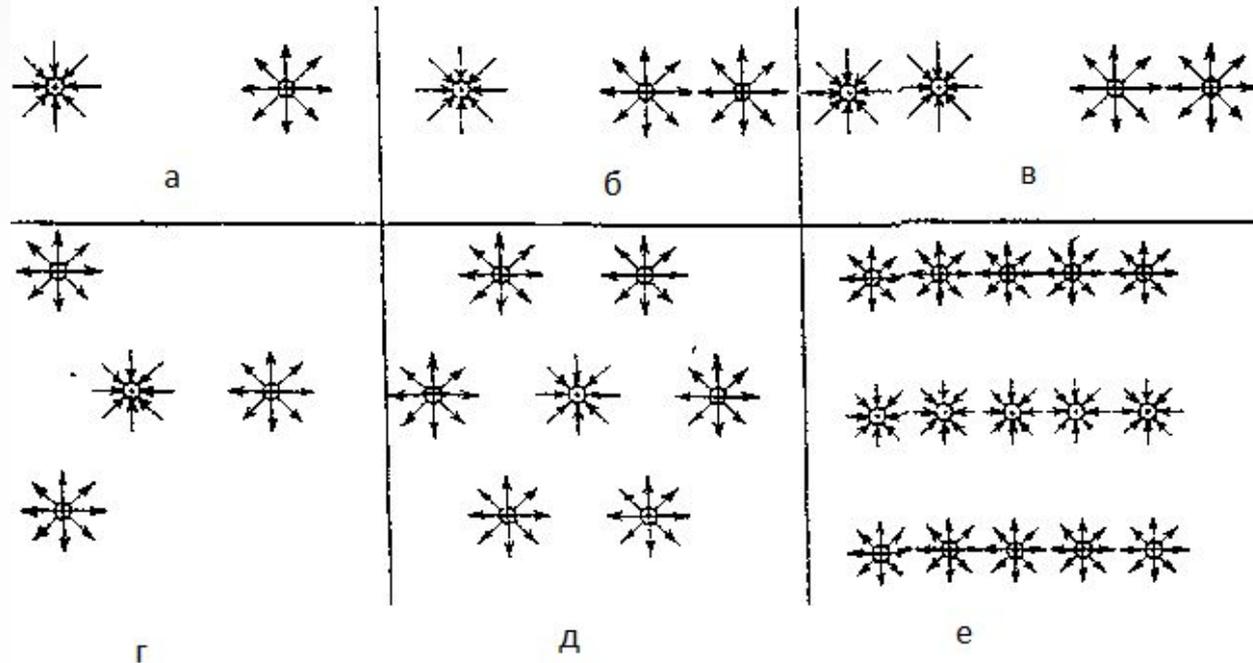
1. Фильтрационная схема основана на использовании постоянного или периодически действующего потока растворов реагента, заполняющего все трещины и поры рудоносного массива за счёт разности напоров у закачных и откачных скважин (устройств).
2. Инфильтрационная схема основана на использовании инфильтрационного потока раствора реагента, движение которого по рудному телу (отбитой или замагазинированной руде) происходит под действием сил гравитации от оросительных устройств к дренажным.
3. Пульсационно-статическая схема заключается в периодическом затоплении (заполнении) выщелачивающим реагентом участков рудных тел в естественном залегании, отработанных пространств рудников или специально подготовленных камер с замагазинированной рудой с последующим отбором продуктивных растворов (иногда этот способ называют иммерсионным)

Системы разработки ПВ металла из руд делятся на три группы:

1. с площадным (ячеистым) расположением скважин и фильтрационным режимом;
2. с линейным расположением технологических скважин и фильтрационным режимом;
3. с противофильтрационными завесами, с различными расположением и режимами выщелачивания.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 4



- Наиболее распространенные варианты расположения рабочих скважин:
- а — две разнозначные скважины; б — одна откачная и две закачные скважины;
 - в — две откачные и две закачные скважины; г — три закачные и одна откачная скважины;
 - д — шесть закачных и одна откачная скважины;
 - е — два ряда закачных и один ряд откачных скважин

Агенты: для водорастворимых солей (поваренная соль, хлорид калия, сульфат натрия, гидрокарбонат натрия) обычно в качестве растворителя выступает вода: для извлечения меди используются кислоты, переводящие соединения меди в более растворимые формы; для урана могут использоваться слабые растворы серной кислоты или пищевая сода; для извлечения золота применяют растворы, содержащие активный хлор

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 5

Основными структурными единицами скважинной системы разработки способом ПВ являются:

- элементарный ряд (ячейка),
- эксплуатационный блок,
- эксплуатационный участок,
- эксплуатационное поле

Элементарная ячейка - часть продуктивной толщи, запасы которой обрабатываются одной откачной скважиной. Ячейка ограничивается гидродинамическими границами так, чтобы ячейка функционировала в гидродинамически замкнутом режиме.

Эксплуатационный блок — часть продуктивной толщи, включающая группу смежных элементарных ячеек, характеризующихся по возможности однородным распределением запасов, геохимическим строением и вещественным составом руд и рудовмещающих пород, одновременно вводимых в эксплуатацию и обрабатываемых в едином геотехнологическом режиме.

Эксплуатационный участок — группа смежных эксплуатационных блоков, имеющая общую систему коммуникаций, а также установки контроля и управления геотехнологическим режимом процесса ПВ.

Эксплуатационное поле — объединённые в единое целое несколько эксплуатационных участков, привязанных обычно к единой технологической установке (перерабатывающему комплексу).

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 6

Этапы отработки запасов в эксплуатационном блоке ПВ:

- 1) вскрытие запасов, т.е. бурение и освоение скважин, обвязка их технологическими коммуникациями и оснащение контрольно-измерительной аппаратурой;
- 2) ведение технологического процесса в недрах, в том числе транспортирование к рудным залежам рабочих растворов, технологическая подготовка руд к выщелачиванию, формирование продуктивных растворов, транспортировка их к откачным скважинам и подъём на поверхность;
- 3) ликвидация отработанных блоков, т.е. восстановление первоначального состояния рудовмещающего водоносного горизонта в пределах блока и поверхности земли.

Стадии технологического этапа отработки запасов урана способом ПВ:

- 1) закисление рудной залежи, т.е. подготовка рудовмещающего водоносного горизонта к формированию и движению в нём потока продуктивных растворов;
- 2) активное выщелачивание урана, т.е. формирование и извлечение из блока кондиционных продуктивных растворов;
- 3) довыщелачивание («отмывка») урана, или вытеснение остаточных после прекращения активной стадии выщелачивания) урансодержащих кондиционных растворов пластовыми водами или бедными (маточными) растворами.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 7

Скважины ПВ по назначению бывают:

- эксплуатационные технологические, барражные, наблюдательные,
- вспомогательные контрольные и разведочные.

Технологические скважины предназначены для подачи в недра рабочих растворов — закачные (нагнетательные) и для подъёма технологических растворов на поверхность — откачные (разгрузочные). Также эти скважины применяют для регулирования гидродинамического режима в продуктивной толще.

Барражные скважины предназначаются, для создания вертикальных и горизонтальных противодиффузионных завес, ограничивающих растекание выщелачивающих растворов за пределы эксплуатационного блока, а также для уменьшения увода этих растворов в боковые вмещающие породы.

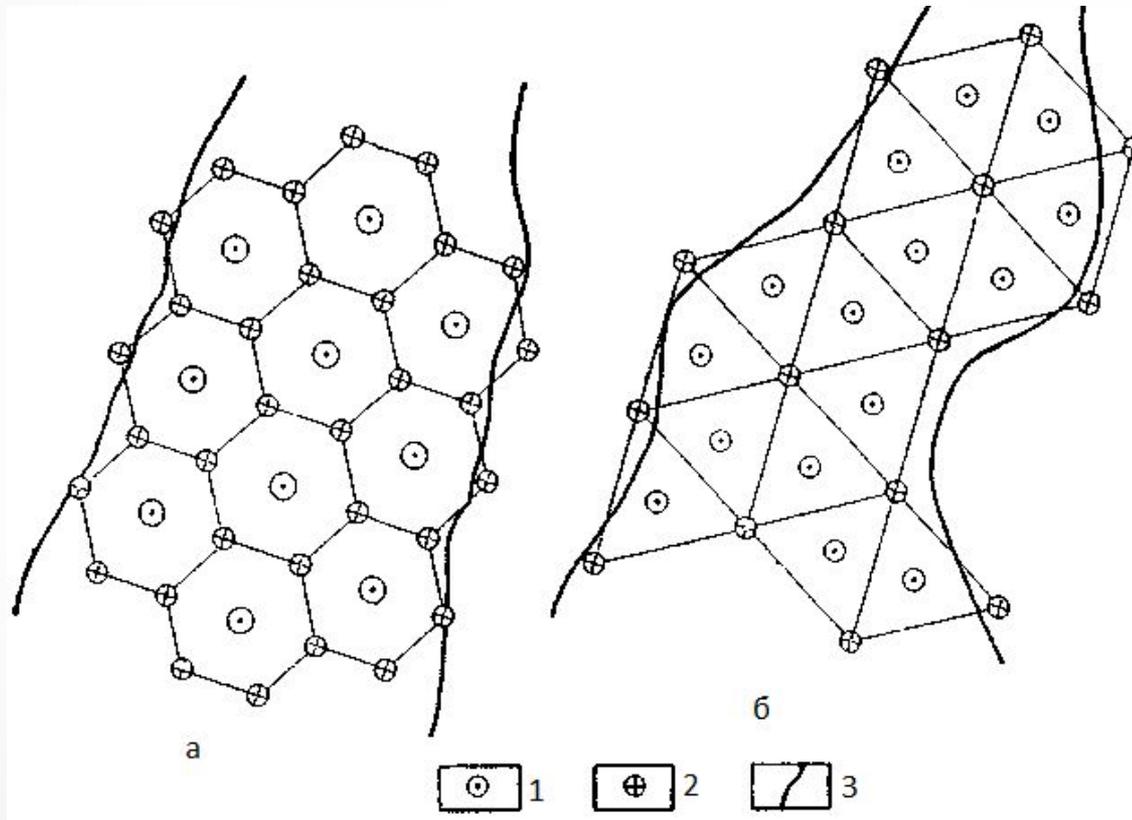
Наблюдательные скважины предназначаются для наблюдения и контроля за процессом формирования растворов в пределах эксплуатационного блока, за гидродинамическим состоянием продуктивного водоносного горизонта, растеканием технологических растворов вне эксплуатационных участков и их возможным перетеканием в другие горизонты.

Контрольные скважины бурятся на отработанных участках для контроля полноты извлечения полезного компонента из недр, а также для решения других задач (контроль изменений в недрах, состояния загрязнения и т.п.).

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 8

Системы расположения скважин по движению растворов и расположению технологических скважин: площадная (ячеистая), линейная и комбинированная



- Площадные ячеистые системы расположения скважин (редкая):
- а) с гексагональными ячейками;
 - б) с треугольными ячейками;
1. Скважины откачные;
 2. Скважины закачные;
 3. Контур рудной залежи

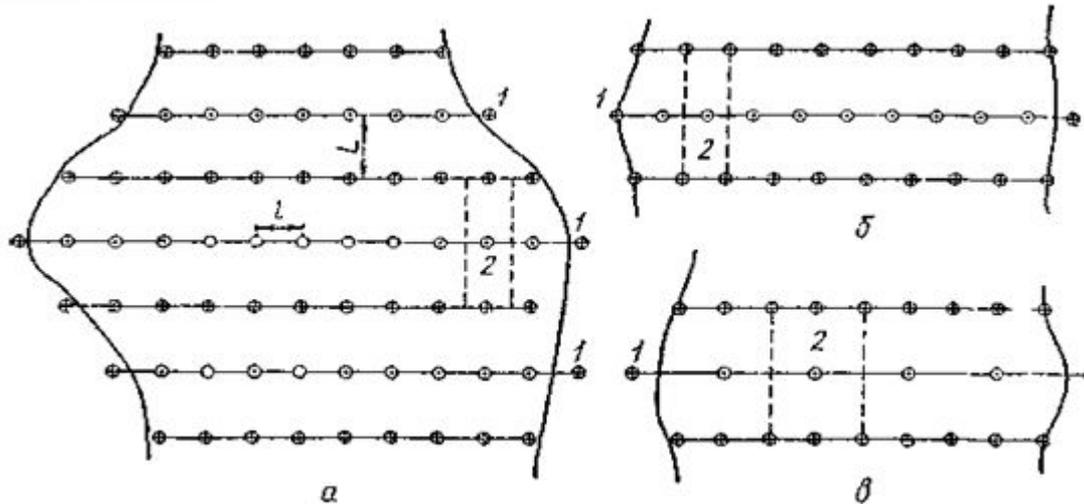
Межскважинное расстояние небольшое — 8...20 м

Площадные (ячеистые) системы расположения скважин применяют для обработки горизонтальных или слабо наклонных залежей осадочного происхождения.

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 9

Линейные системы расположения скважин состоят из последовательно чередующихся рядов откачных и закачных скважин. Расстояния между рядами скважин и скважинами в ряду 15...50 м и более. Добычный комплект обычно состоит из двух закачных и одной откачной скважины, принадлежащих к трём последовательно расположенным рядам. Линейные системы весьма широко применяются для любых месторождений



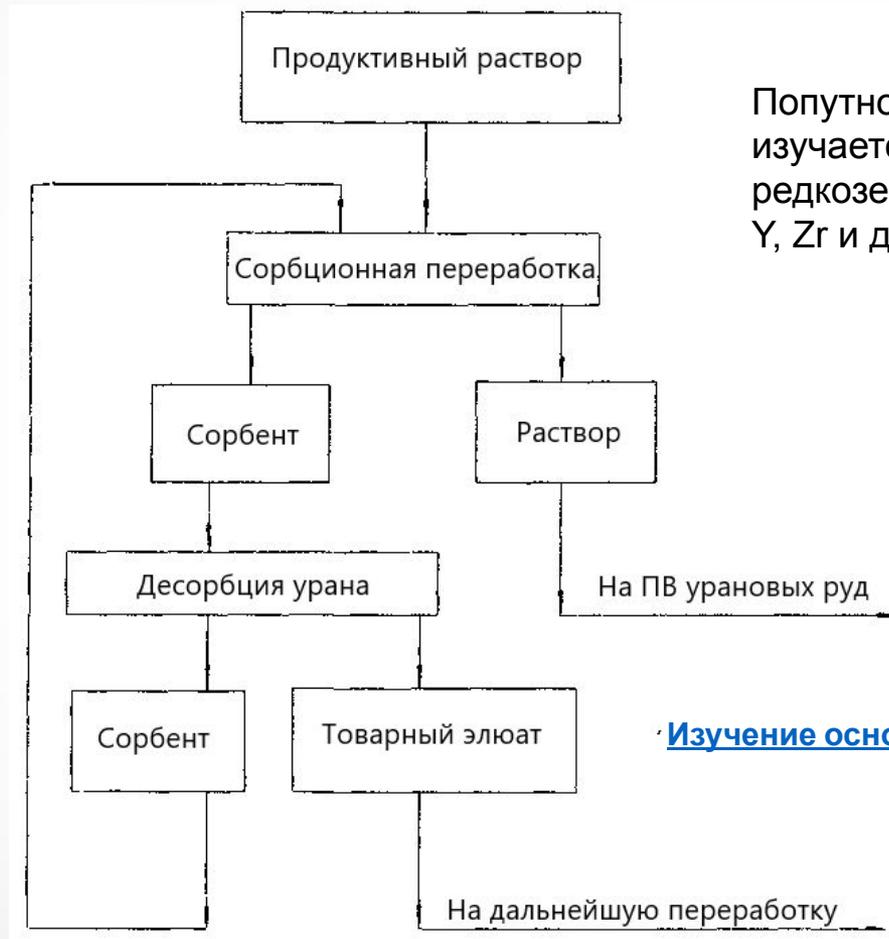
Линейные системы расположения скважин:
а) прямоугольная;
б) шахматная,
в) с отношением числа откачных к закачным: 1:2, 1:5 и др.

1- внешние ряды скважин для создания механического барьера нагнетанием твердеющего материала - цемент, синтетические смолы и др.

2 – внутренние ряды скважин для создания химического барьера нагнетанием твердеющих с выщелачивающим агентом веществ

Технологические схемы скважинной добычи твёрдых полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – 10



Попутно с ураном извлекается и молибден, изучается возможность получения редкоземельных элементов, а также Nb, Ta, Y, Zr и даже цинка.

[Изучение основы сорбционной технологии переработки урановых растворов](#)

Принципиальная технологическая схема сорбционной переработки продуктивных растворов подземного выщелачивания

Литературные источники

1. Янг Д., Кинетика разложения твердых веществ, пер. с англ., М., 1969
2. Пучков Л.А., Виткалов В.Г., Шаровар И.И. Геотехнологические способы разработки месторождений. – М.: Горная книга, 2006, стр.322.
3. Зиннатуллин Р.Р., Ковалева Л.А., Султангужин Р.Ф. Исследование диэлектрических свойств водонефтенасыщенных горных пород и их нагрева в электромагнитном поле // Теплофизика высоких температур, 2019, том 57, № 1, с. 143–145.