



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Курс:** «Технология бурения эксплуатационных скважин  
при отработке месторождений урана методом  
подземного выщелачивания»

**Лекция 2**

**Тема: «Введение. Системы разработки»**



**Лектор старший преподаватель ТПУ - Бер Александр Андреевич**



# Системы разработки урановых месторождений

# Преимущества подземного скважинного выщелачивания

Подземное скважинное выщелачивания (ПСВ), имеет ряд существенных **преимуществ**:

- – **добыча** полезных компонентов производится с помощью раствора реагента без извлечения руды на поверхность, через систему технологических скважин;
- – **высокое извлечение** полезных компонентов из недр;
- – **минимальное** отрицательное воздействие на окружающую среду;
- – **не образуются провалы и зоны** обрушения земной поверхности, отсутствуют отвалы пустых пород, а также хвостохранилища, не нарушается природное состояние недр;
- – **полностью исключены** источники пылевыведения при добыче, что значительно снижает выбросы в атмосферу, так как радий и продукты его распада при кислотном варианте ПСВ остаются под землей;
- – в подвижное состояние в недрах переходит и выводится на поверхность менее 5 % радиоактивных элементов по сравнению со 100 % при традиционных способах добычи урана;
- – **количество твердых отходов** при ПСВ составляет менее 1 кг на 100 кг готового продукта (при традиционнм способе - до 1000 кг).

# Главные цели подземного выщелачивания

Главные цели подземного выщелачивания при разработке урановых месторождений включает в себя



наиболее полное  
и селективное **растворение**  
**урановых** минералов

**извлечение растворенного**  
**урана** с места  
залегания руды

ПВ является более привлекательным и эффективным, по сравнению с традиционными способами добычи, при разработке бедных месторождений, а также глубокозалегающих месторождений, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горнотехнологическими условиями

# Общие сведения о ПВ

- **Несмотря на многообразие типов минералов и руд, содержащих уран, для выщелачивания последнего обычно используют водные растворы минеральных кислот или солей карбонатов щелочных металлов.**
- **При ПВ выбор растворителя обуславливается формой урановой минерализации и вещественным составом рудных залежей и вмещающих их пород.**

# Общие сведения о ПВ

С точки зрения **гидрометаллургической переработки** урановые руды подразделяются на **пять основных минералогических классов** в зависимости от химической природы урановых минералов и их поведения при выщелачивании.

Из них наиболее благоприятными для отработки руд методом ПВ являются

- руды, содержащие **четырёхвалентный** уран – эндогенные минералы (магматическая и пегматитовая группа минералов)
  - уранинит
  - настуран
  - ураноторит
- руды, содержащие **шестивалентный** уран – экзогенные минералы
  - урановые черни
  - коффинит
  - гидронастуран
  - карнотит
  - тюямунит
  - отенит
  - торбернит
  - уранофан
- Данные руды с первичной и вторичной минерализацией могут подвергаться как кислотному, так и карбонатному выщелачиванию

# Общие сведения о ПВ

- При переработке руд **шестивалентного урана** извлечение в раствор составляет **90—98%**.
- Выщелачивание **четырёхвалентного урана** затруднено; в этом случае необходимо предварительное окисление урана до шестивалентного.
- Окисление может проводиться различными способами. Чаще всего в растворы добавляют окислители: азотную кислоту, пиролюзит, кислородсодержащий газ и т. п.
- 
- **Шестивалентные** минералы урана хорошо растворяются также **в карбонатных растворах** (сода, карбонат аммония) тогда как **четырёхвалентный** растворяется в них только в присутствии окислителей.
- Таким образом, несмотря на большое разнообразие урановых минералов, **большинство** из них легко растворяются в слабых кислотах и щелочах.

# Растворители урановой руды

- Наиболее дешевым растворителем является серная кислота.
- Стоимость других выщелачивающих уран реагентов (в процентах к стоимости серной кислоты) характеризуется следующими показателями (в расчете на моногидрат или 100% - ю соль):
  - серная кислота  $H_2SO_4$  – 100
  - азотная кислота  $HNO_3$  – 215
  - соляная кислота  $HCl$  – 238
  - бикарбонат натрия (пищевая сода)  $NaHCO_3$  – 106,
  - карбонат натрия (кальцинированная сода)  $Na_2CO_3$  – 118,
  - гидрокарбонат аммония  $NH_4HCO_3$  – 132,
  - углекислый аммоний  $(NH_4)_2CO_3$  – 300

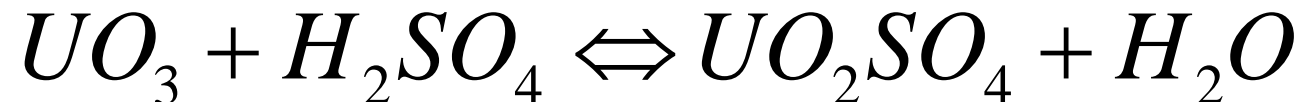


# Кислотный способ выщелачивания

**Кислотный способ** выщелачивания дает более высокое извлечение урана по сравнению с карбонатным способом, но имеет ряд существенных **недостатков**:

- **сравнительно высокую агрессивность**, что приводит к растворению помимо урана других компонентов руды, пустых пород и обуславливает повышенный расход кислоты;
- **невозможность** применения способа для обработки рудных тел, в которых содержится более 2 % карбонатов (по  $\text{CO}_2$ );
- **необходимость использования** в качестве конструкционных материалов при обсадке скважины на большие глубины труб из специальных дорогостоящих материалов (нержавеющая сталь, армированный полиэтилен), применение специального оборудования для подъема раствора из скважины.

При **кислотном** выщелачивании окисленных минералов **уран** переходит в раствор в виде уранил-иона:



# Основные стадии отработки ПСВ

Выделяют основные стадии отработки



Для разделения процесса выщелачивания на стадии используют отношение **Ж/Т** (отношение объема пропущенного раствора к горнорудной массе, м<sup>3</sup>/т)

**Закисление**  
рудовмещающего  
Пласта  
**Ж/Т от 0 до 0,25**

**Выщелачивание**  
**(активное выщелачивание)**  
**Ж/Т от 0,25 до 1,5**

**Довыщелачивание**  
**(или отмывка)**  
**Ж/Т от 1,5 до 2,5–3**

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- На стадии закисления идет откачивание или отдавливание подземных вод и заполнение порового пространства раствором реагента, который переведет предназначенный для добычи металл в растворимую форму.
- Во время заполнения объема выщелачивания раствором реагента не только происходит откачивание или отдавливание подземных вод, но и одновременно протекают химические реакции кислоты с рудой и вмещающей породой, а также присутствует эффект перемешивания растворов, текущих по разным линиям тока с учетом фильтрационной неоднородности пород и плотности растворов по законам подземной гидродинамики.
- В этот период целесообразны наибольшие концентрации реагента и скорость фильтрации для быстрого заполнения выщелачивающим раствором продуктивного горизонта.
- Время протекания первой стадии зависит от конкретных условий и принятой системы разработки и составляет **от 2 до 5 месяцев**.

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- Стадия заканчивается появлением в продуктивных растворах устойчивых содержаний урана и заполнением выщелачивающего объема рабочими растворами, это достигается при **Ж/Т = 0,25**.
- Концентрация серной кислоты при закислении поддерживается в пределах **15-30 г/л**, иногда до **40 г/л** (при больших расстояниях между откачными и закачными скважинами).
- Концентрация кислоты в выщелачивающем растворе (ВР) должна регулироваться остаточной кислотностью откачиваемых растворов.
- На стадии закисления остаточная кислотность не должна быть ниже 2 г/л, а верхняя граница определяется перерабатывающим комплексом согласно принятой технологии. На этой стадии обычно расходуется до 30 % общего количества реагента.

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- При кислотном выщелачивании фронт урансодержащих растворов движется с некоторым отставанием от действительной скорости фильтрации потока, что связано с нейтрализацией реагента и частичным переосаждением растворенных металлов.
- Обычно это отставание тем больше, чем ниже концентрация кислоты в ВР.
- Для всех песчаных руд повышение концентрации серной кислоты в ВР при закислении пласта интенсифицирует процесс и увеличивает степень извлечения урана за счет вовлечения в процесс минералов, которые требуют более жестких условий вскрытия, а также благодаря разложению экранирующих пленок.
- Но концентрация выщелачивающего реагента должна соответствовать некоторому оптимальному значению, определяемому затратами на него.
- Не следует допускать непомерно высокую остаточную кислотность в продуктивных растворах.

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- В период закисления и активного выщелачивания увеличение скорости фильтрации растворов (в пределах, исключающих суффозионное перемещение частиц) является положительным фактором с точки зрения

$$V = \frac{Q}{2 \cdot F \cdot N_{\text{э}}},$$

где  $Q$  - дебит скважины, м<sup>3</sup>/ч;

$F$  - площадь поперечного сечения потока жидкости, м<sup>2</sup>;

$N_{\text{э}}$  — эффективная пористость.

- Отсюда следует, что **процесс выщелачивания целесообразно проводить при больших дебитах скважин**. И, наоборот, всякое уменьшение дебитов скважин, и в особенности перерывы (остановки) в их работе, являются нежелательными при закислении и активном выщелачивании, поскольку приводят к общему увеличению времени отработки, к потере металла из-за его переотложения и гравитационного опускания, к увеличению расхода кислоты.

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- На стадии закисления **нельзя** допускать снижения концентрации выщелачивающего раствора и скорости выщелачивания и длительных остановок, так как это ведет к осаждению урана, его переотложению.
- При увеличении **pH** растворов при их нейтрализации в пласте сульфатные комплексы урана гидролизуются, выпадают в осадок и активно сорбируются глинистой фракцией. Для перевода этого урана в раствор требуются дополнительные затраты кислоты

# Основные стадии отработки ПСВ

## Стадия закисления

- Вовремя закисления продуктивного горизонта происходит изменение проницаемости пород и руд в результате химических реакций их с раствором реагента и частичной коагуляции поровых каналов продуктами взаимодействия.
- Для уменьшения этого явления необходимо поддерживать высокую кислотность выщелачивающего раствора, не допуская выпадения осадков, и высокую скорость выщелачивания.
- Искусственная остановка фильтрации приводит к временному ухудшению проницаемости, поскольку химическая реакция продолжается, а выноса продуктов взаимодействия не происходит.
- В результате коагуляции могут снижаться дебиты скважин, особенно если скважины были плохо освоены или бурились с нарушением технологии, а также при подаче в закачные скважины грязных растворов. На таких скважинах должны своевременно проводиться восстановительные работы.





Далее будем рассматривать вопросы ПВ в основном через скважины с дневной поверхностью

# Система подземного скважинного выщелачивания

Процесс подготовки месторождений к отработке методом ПВ через скважины с поверхности включает:

- **бурение и обвязки** скважин поверхностными коммуникациями,
- **оснащение** узлов рабочим (технологическим и контрольно-измерительным) оборудованием и приборами.

Подготовка рудных залежей к выщелачиванию включает также **создание временных гидрозавес** для ограничения движения или направления растворов и в ряде случаев **расчленение** рудовмещающих пород **гидроразрывом**.

# Система подземного скважинного выщелачивания

- По условиям движения растворов в продуктивных пластах главной при ПВ является **фильтрационная схема**.
- Она основана на использовании постоянного потока растворов реагента, заполняющего все трещины и поры рудоносного массива за счет разности напоров у **закачных** и **откачных** скважин.
- Обычно фильтрационную схему применяют при ПВ металлов из руд, приуроченных как к относительно равномерно проницаемым рудам и вмещающим породам, так и к неоднородным, слоистым.
- На таких месторождениях бурят технологические скважины с поверхности, которые выполняют функции вскрытия, подготовки рудных тел к отработке, а также являются путями транспортирования технологических растворов к месту залегания рудных тел.
- Доставка руды на поверхность осуществляется избирательным переводом металла из рудных залежей в раствор на месте их залегания и транспортированием образовавшихся продуктивных растворов к установкам переработки.

# Система подземного скважинного выщелачивания

**Основными учетными единицами** в структуре **скважинных систем разработки** гидрогенных урановых месторождений методом **ПВ** являются:

- элементарный ряд (ячейка),
- эксплуатационный блок
- эксплуатационный участок.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## 1. Элементарная ячейка

- Элементарная **ячейка** - **это**-часть продуктивной толщи, запасы которой отрабатываются **одной откачной** скважиной.
- **Ячейка** пространственно ограничивается контурами, которые в максимальной степени должны быть приближены к различным гидродинамическим границам - водоупорам, контурам закачных скважин с тем, чтобы ячейка функционировала по возможности в гидродинамическом замкнутом режиме, то есть **при отсутствии растекания** технологических **растворов за контур ячейки** и **разбавлении их законтурными водами.**

# Система подземного скважинного выщелачивания

## 2. Эксплуатационный блок ПВ

- Это **часть продуктивной толщи**, включающая группу смежных элементарных **ячеек**, характеризующихся по возможности **однородными**:
  - распределением запасов,
  - геохимическим строением и вещественным составом руд и рудовмещающих пород, **одновременно вводимых** в эксплуатацию и **отрабатываемых** в **едином геотехнологическом режиме**.

# Система подземного скважинного выщелачивания

- **Перечисленные условия** необходимы для обеспечения возможности управления процессом ПВ и **максимально достижимой синхронности отработки** запасов эксплуатационного блока.
- **Число** объединяемых в **блок** элементарных **ячеек** определяют, исходя из:
  - отмеченных выше геолого-гидрогеологических условий
  - и сроков подготовки и отработки запасов.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## 3. Эксплуатационный участок

- **Эксплуатационным участком** является группа смежных эксплуатационных блоков, имеющая самостоятельную систему коммуникаций и установки контроля и управления геотехнологическим режимом процесса ПВ.
- **Размеры участка** (число объединенных эксплуатационных **блоков**) определяются как морфологическими структурными и тектоническими особенностями рудной залежи (или ее части), так и другими техническими и организационными факторами.
- **В практике проектирования** предприятий ПВ **принято объединять** ряд эксплуатационных участков в эксплуатационные **поля**, которые привязываются обычно к **единой технологической установке** (перерабатывающему комплексу).



# Система подземного скважинного выщелачивания

Отработка запасов в **эксплуатационных блоках** ПВ осуществляется в **три** этапа:

1. Подготовительный
2. Технологический
3. Заключительный

На этих этапах производятся:

- - **вскрытие запасов**, т.е. бурение и освоение скважин, обвязка их технологическими коммуникациями и оснащение контрольно-измерительной аппаратурой;
- - **ведение технологического** процесса в недрах;

# Основные стадии отработки ПСВ

**Технологический этап** отработки запасов методом ПВ с учетом современного уровня представлений о физико-химических условиях процесса и технико-экономических особенностей его осуществления принято делить на **четыре стадии**:

- 1) **Закисление** рудной залежи, т. е. подготовка рудовмещающего водоносного горизонта к формированию и движению в нем потока продуктивных растворов,
- 2) **Активное выщелачивание** урана, т. е. формирование и извлечение из блока кондиционных продуктивных растворов,
- 3) **Довыщелачивание** («отмывка») урана, т. е. по существу **вытеснение остаточных** (после прекращения активной стадии выщелачивания) **урансодержащих кондиционных растворов** **пластовыми водами или бедными (маточными) растворами.**
- 4) **Ликвидация** отработанных блоков, т. е. восстановление первоначального состояния рудовмещающего водоносного горизонта в пределах блока и поверхности земли.

# Система подземного скважинного выщелачивания

В зависимости от схемы движения растворов и схем расположения технологических скважин выделяют **три группы** бесшахтных (**скважинных**) систем подземного выщелачивания металла из руд с естественной проницаемостью

- 1. Группа с **площадным** (ячеистым) расположением скважин и фильтрационным режимом
- 2. Группа с **линейным** расположением технологических скважин и фильтрационным режимом
- 3. **Комбинированная** группа (группа систем с **противофильтрационными завесами** для ограничения растекания выщелачивающего реагента в горизонтальном и вертикальном направлениях – гидрозавесы и гидравлический разрыв пласта с целью создания искусственных водоупоров).

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Площадные (ячеистые) системы расположения скважин

- **Обычно применяют** для разработки залежей, приуроченных к осадочным слоистым неоднородным рудам и породам горизонтального или слабонаклонного залегания, в условиях относительно низкой водопроницаемости руд ( $K_f$  до 0,1–1,0 м/сут).
- **Представляют собой** равномерное чередование на площади залежи откачных и закачных скважин, образующих между собой ячейки (треугольные, квадратные, гексагональные и др.) с небольшими межскважинными расстояниями (8–20 м).
- Площадные (ячеистые) схемы расположения скважин **находят все более широкое применение** при вовлечении в разработку методом ПВ сложных в морфологическом отношении рудных залежей с относительно невысокими коэффициентами фильтрации (до 1 м/сут), большой изменчивостью физико-химических свойств руд и вмещающих их пород, а также при использовании для откачки растворов современных высокодебитных насосов.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Площадные (ячеистые) системы расположения скважин

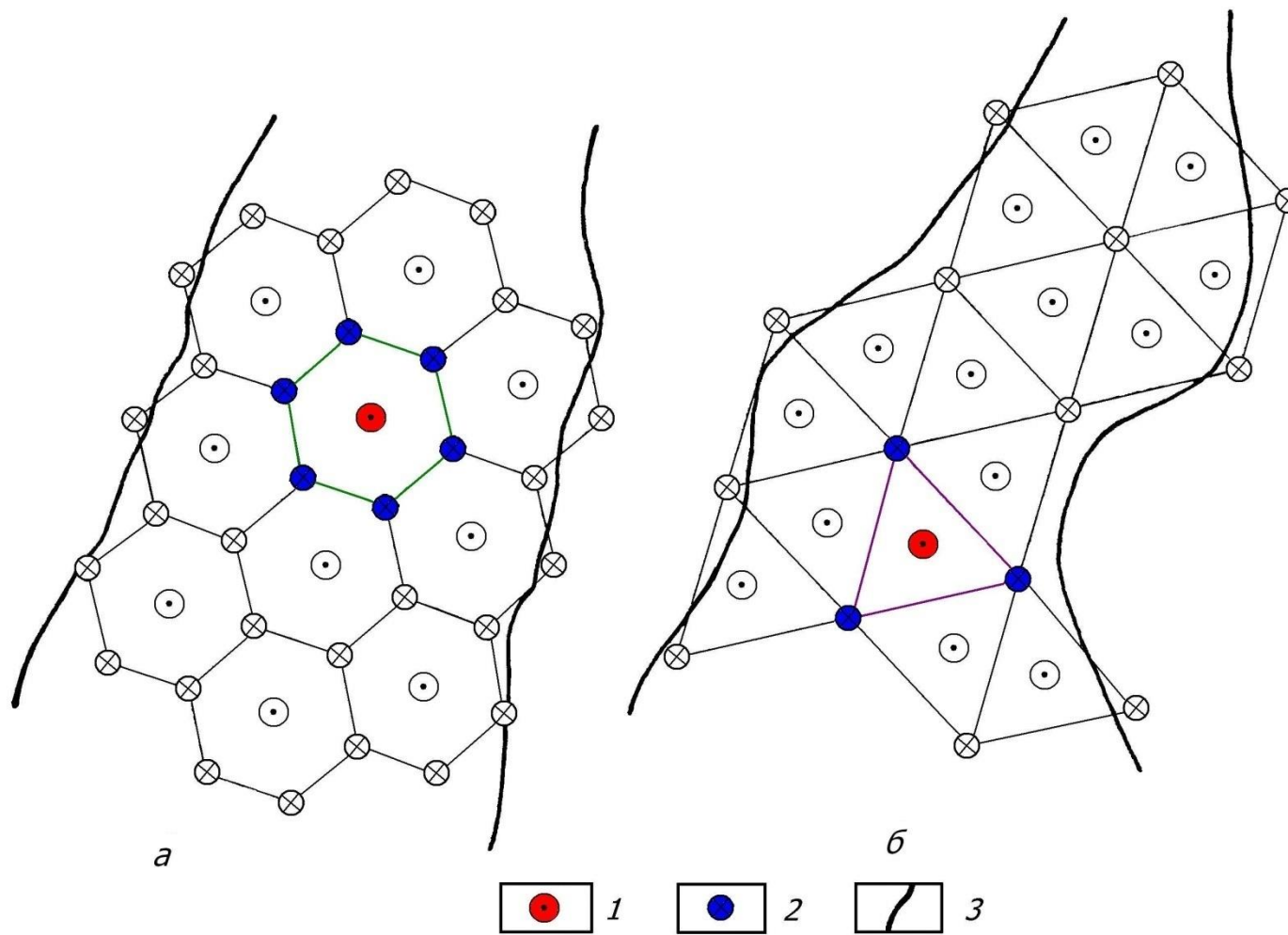
**а** – гексагональная ячейка;

**б** – треугольная ячейка;

**1** – скважины откачные;

**2** – скважины закачные;

**3** – контур рудной залежи



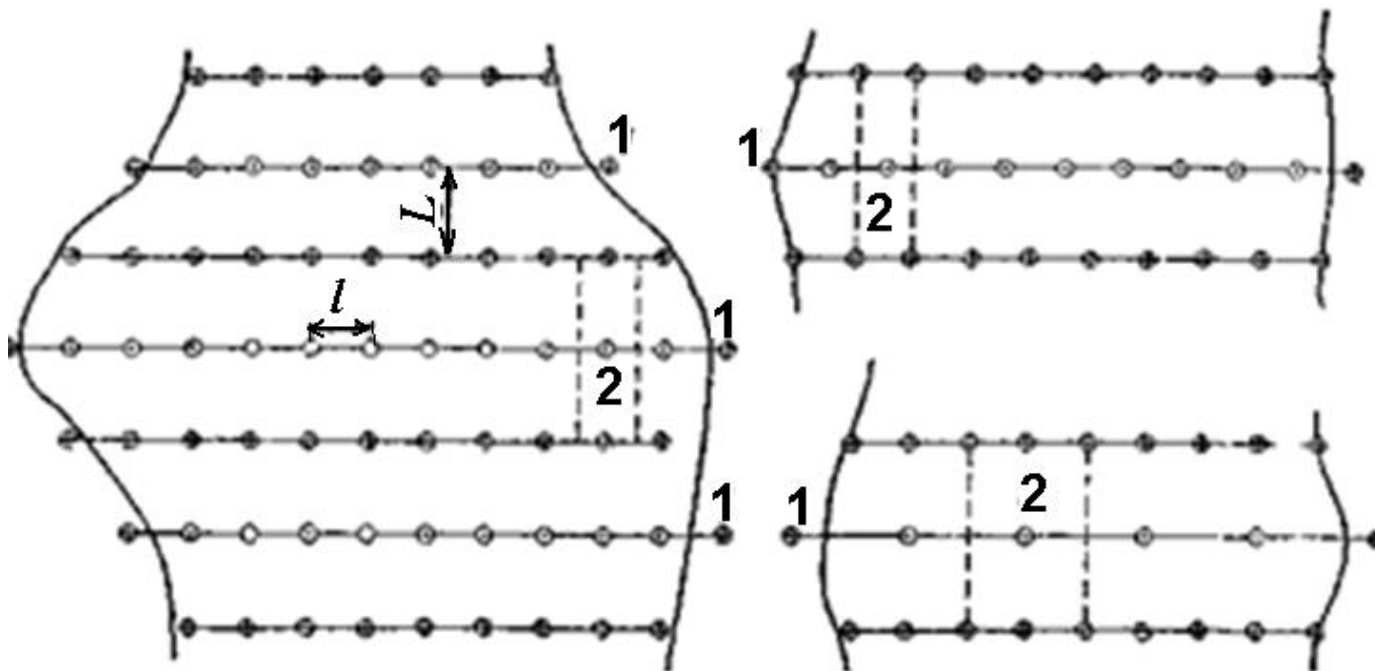
# Система подземного скважинного выщелачивания

## Линейные системы расположения скважин

- **Состоят из** последовательно чередующихся на площади залежей рядов **откачных** и **закачных** скважин.
- В зависимости от фильтрационных свойств и однородности рудного массива расстояние между рядами и скважинами в ряду колеблется в широких пределах (**15–50 м и более**).
- **Добычная ячейка** обычно **состоит** из двух закачных и одной откачной скважины, принадлежащих к трем последовательно расположенным рядам.
- На урановых месторождениях как в России, так и за рубежом линейные системы расположения скважин применяются широко. Они наиболее эффективны при разработке протяженных гидрогенных урановых месторождений, сложенных осадочными, хорошо водопроницаемыми ( **$K_f > 1,0$  м/сут**) рудами и породами и находящимися в сложных гидрогеологических условиях. Накоплен опыт ведения процесса в оптимальных режимах, отработаны необходимые параметры.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Линейные системы расположения скважин



**а** – прямоугольная; **б** – шахматная; **в** – с отношением числа откачных скважин к числу закачных  $1/2$ ,  $1/3$  и т. д.;

**1** – блокирующая скважина; **2** – добычная ячейка;

**L** – расстояние между рядами, **l** – между скважинами;

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Густота сети эксплуатационных скважин

- Исследованиями установлено, что **наиболее благоприятной** из опробованных является **линейная система с шахматным расположением скважин** при соотношении расстояний между скважинами в ряду и между рядами **1:2**, наименее благоприятной – система с прямоугольным расположением скважин с соотношением расстояний **1:1**.
- Что касается теоретического или расчетного обоснования расстояний между скважинами, то этот **вопрос пока** окончательно **не решен**.
- **Выбор** расстояний между скважинами – задача весьма сложная и **зависит** от многих геолого-гидрогеологических, гидродинамических и технологических факторов, технических возможностей сооружения и эксплуатации скважин, экономики процесса и т. д.



# Система подземного скважинного выщелачивания

## Густота сети эксплуатационных скважин

- В настоящее время на практике **выбор** расстояний между скважинами **осуществляют** с помощью аналогового моделирования или технико-экономического сопоставления нескольких вариантов отработки на опытных или эксплуатационных участках.
- Так, например, технико-экономическое сравнение вариантов для одного гидрогенного пластового месторождения с коэффициентом фильтрации руд ( **$K_f$  около 6 м/сут**) показало, что оптимальной является система с шахматным расположением скважин с расстояниями **25x50 м**.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Густота сети эксплуатационных скважин

Анализ работы эксплуатационных блоков ПВ с различными расстояниями между рядами откачных и закачных скважин показывает, что **схемы расположения скважин** с укороченными (до 20–30 м и менее) расстояниями между рядами **обладают рядом преимуществ:**

- при более густой сети скважин сокращаются сроки подготовки запасов и ввода блоков в эксплуатацию;
- с уменьшением расстояний между рядами при прочих равных условиях уменьшается время отработки блоков;
- уменьшение межрядных расстояний обеспечивает лучшие возможности для дифференцированного режима отработки отдельных блоков;
- при сокращении расстояний между закачными и откачными скважинами при прочих равных условиях уменьшается мощность вовлекаемых в технологическую проработку рудовмещающих пород, что способствует уменьшению расходов кислоты, особенно при отработке рудных тел, залегающих в рудовмещающих горизонтах значительной мощности;
- в связи с уменьшением мощности пород, вовлекаемых в технологическую проработку при сближенных расстояниях между рядами скважин, несколько возрастает содержание урана в продуктивных растворах, что влечет за собой соответствующее уменьшение расходов растворителя, а также материальных затрат, связанных с дальнейшей транспортировкой и переработкой растворов.

# Система подземного скважинного выщелачивания

**Густота сети эксплуатационных скважин при вскрытии и отработке залежей различного морфологического типа методом ПСВ**

**Схема 1**

**Залежи шириной до 50 м** следует вскрывать и обрабатывать продольными рядами технологических скважин, пробуренных в центральной (осевой) части залежи.

На **первом этапе** отработки в одной половине эксплуатационного блока производится **закачка** рабочих растворов, во второй – **откачка**.

При появлении рабочих растворов в наблюдательных скважинах закачной половины блока наступает второй этап отработки: в этой половине блока проводится откачка сформировавшихся продуктивных растворов, а во второй, откачной, половине блока – закачка рабочих растворов. Описанная смена режимов откачки–закачки растворов в эксплуатационном блоке проводится неоднократно, до полной отработки запасов блока; при этом амплитуду каждого последующего этапа откачки–закачки рабочих растворов следует увеличивать. В этом случае уран, переосажденный на участке изменившегося потока рабочих растворов, будет последовательно вовлекаться в процесс ПВ.

Очевидно, что применение других, более «уплотненных» сеток скважин (например, трехрядных или ячеистых) при отработке узких залежей (шириной до 50 м) ограничивается возможностью рентабельной отработки блока.

Предлагаемая система разработки блока вызывает необходимость бурения взаимозаменяемых скважин (каждая откачная скважина является также закачной) и соответствующей обвязки скважин поверхностными коммуникациями.

# Система подземного скважинного выщелачивания

**Густота сети эксплуатационных скважин при вскрытии и отработке залежей различного морфологического типа методом ПСВ**

**Схема 2**

- **Залежи шириной 50–150 м** рекомендуется вскрывать рядами скважин по простиранию, закачные скважины располагать по контуру рудной залежи, откачные – в центральной части, по возможности согласовав их положение с границей выклинивания зоны пластового окисления.
- Желательно увеличить производительность откачных скважин на расширяющихся участках залежи при соответствующем увеличении числа закачных скважин или повышении их производительности.

# Система подземного скважинного выщелачивания

**Густота сети эксплуатационных скважин при вскрытии и отработке залежей различного морфологического типа методом ПСВ**

**Схема 3**

- **Залежи шириной свыше 150 м можно вскрывать рядами скважин как вкрест простирания, так и по простиранию в зависимости от морфологии рудных залежей и рельефа местности при расстояниях между рядами скважин 50–100 м.**
- **При необходимости контур рудных залежей обуривается блокирующими закачными скважинами для уменьшения разбавления продуктивных растворов законтурными пластовыми водами.**

# Система подземного скважинного выщелачивания

Густота сети эксплуатационных скважин при вскрытии и отработке залежей различного морфологического типа методом ПСВ

Схема 4

- При **вскрытии широких залежей (более 300 м)** рядами скважин по простиранию разработку рекомендуется проводить отступающим порядком от периферии к центру.
- В этом случае возникающая депрессионная воронка по мере развития работ на участке ПВ будет неизбежно смещаться к центральной части залежи и оказывать положительное влияние на технико-экономические результаты процесса.

# Система подземного скважинного выщелачивания

**Густота сети эксплуатационных скважин при вскрытии и отработке залежей различного морфологического типа методом ПСВ**

- **Во всех рассмотренных схемах вскрытия расстояния между рядами скважин определяются, главным образом, размерами и морфологией рудных залежей, а также нормативами затрат на вскрытие запасов в структуре себестоимости продукции.**
- **Расстояния между скважинами в ряду должны определяться с учетом дебитов и приемистости скважин, максимального извлечения в минимально возможный срок отработки участков рудных залежей, которые различаются по морфологии и технологическим свойствам.**

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Системы разработки с использованием противодиффузионных завес

- При ПВ большое значение имеют горизонтальные и вертикальные экраны ограничения движения растворов в горизонтальном и вертикальном направлениях, где соотношение мощностей рудной ( $m$ ) и безрудной ( $M$ ) частей продуктивного пласта является неблагоприятным (например,  $m/M < 1:10$ ).
- Так, при отработке небольших рудных залежей шириной до 50 м для ограничения растекания рабочих растворов за пределы рудной залежи могут быть использованы вертикальные гидрозавесы путем бурения специальных барражных скважин.
- В частности, для этого предложено использовать специальные ячейки технологических и барражных скважин, которые можно располагать как вдоль залежи, так и в крест ее простирания. В обоих случаях отработка залежи проводится в два этапа.



# Система подземного скважинного выщелачивания

## Системы разработки с использованием противодиффузионных завес

Вертикальные барьеры, предотвращающие растекание растворов, можно создать путем вызова искусственной непроницаемости рудовмещающего водоносного горизонта.

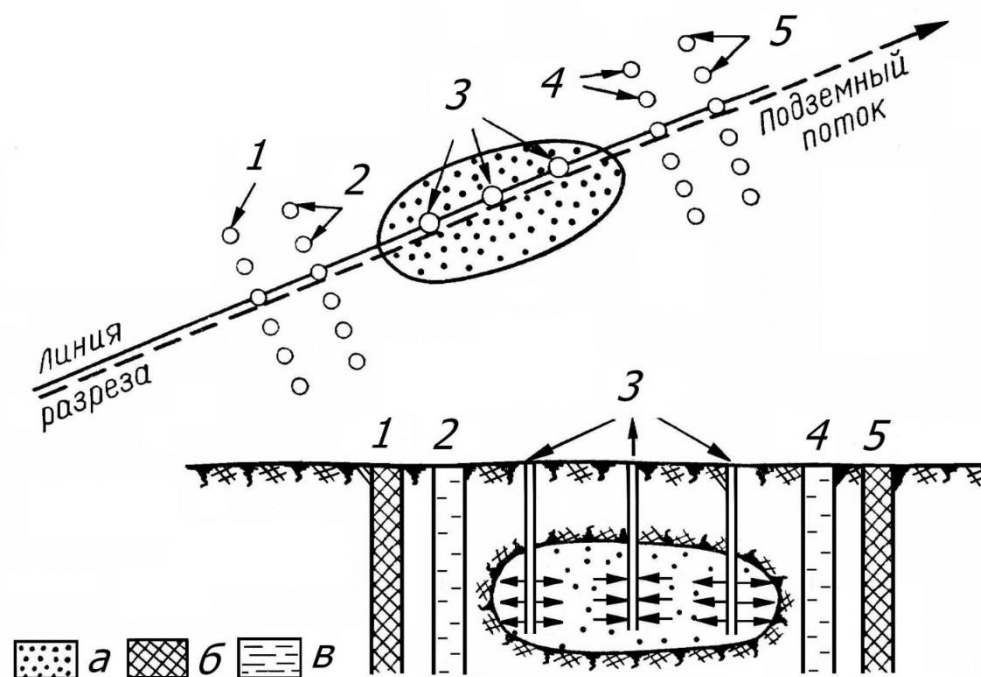
Для уменьшения утечки рабочего раствора на некотором расстоянии от рудного тела вверх и вниз по потоку подземных вод разбуривается по два ряда скважин.

Внешние ряды скважин (1, 5) служат для создания механического барьера. Для этого в эти ряды скважин нагнетается твердеющий материал (цемент, синтетические смолы и др.).

Нагнетанием в скважины внутренних рядов (2, 4) веществ, которые затвердевают после взаимодействия друг с другом и пластовой водой, создается химический барьер.

Химические барьеры могут быть образованы и вокруг всей рудной залежи; они будут препятствовать растеканию рабочих растворов за контуры отработки, а также – разубоживанию продуктивных растворов законтурными пластовыми водами.

Схема разработки месторождений с завесами (план и разрез)



**а** – рудная залежь; **б** – механическая завеса;  
**в** – химическая завеса скважины;  
**1, 5** – для механической завесы, **2, 4** – для химической завесы,  
**3** – для разработки рудной залежи

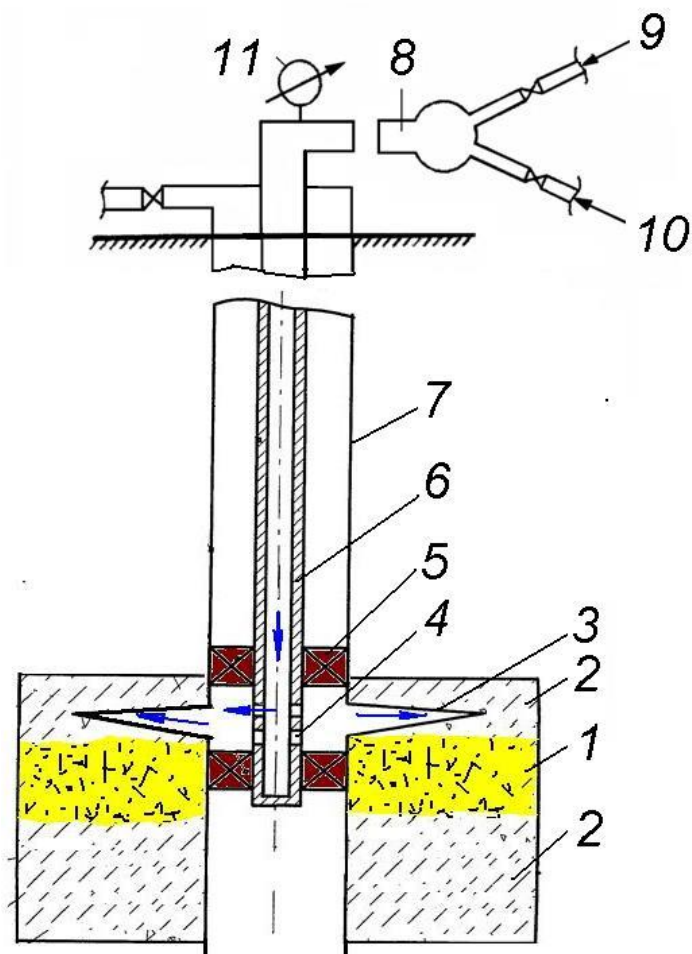
# Система подземного скважинного выщелачивания

## Системы разработки с использованием противофильтрационных завес

- В случае большой мощности рудовмещающего горизонта, а также отсутствия нижнего или верхнего водоупора возникает необходимость создания горизонтальных гидрозавес или водоупоров с применением гидроразрыва пород.
- В настоящее время разработана методика создания искусственных непроницаемых водоупоров из глиноцементной смеси или твердеющих синтетических смол, закачиваемых после гидроразрыва пород с целью создания пропластков. Необходимость создания таких пропластков при разработке гидрогенных месторождений методом ПВ очевидна, в связи с чем сейчас этот метод внедряется на месторождениях и участках рудных залежей с имеющими большую мощность рудовмещающими водоносными горизонтами.
- Следует отметить, что системы разработки месторождений методом ПВ с созданием гидрозавес и гидроразрыва пород отличаются трудоемкостью и повышенными затратами, но эффект от создания таких экранов, предотвращающих растекание рабочих растворов эксплуатационных блоков, объясняет проводимые поиски способов их создания.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Гидро разрыв пласта



- 1** – продуктивная часть пласта;
- 2** – непродуктивная часть пласта;
- 3** – трещина;
- 4** – отверстия;
- 5** – пакер;
- 6** – подающие водопесчаные трубы;
- 7** – обсадная колонна (стенки скважины);
- 8** – устьевое оборудование;
- 9** – жидкость разрыва;
- 10** – жидкость-песконоситель;
- 11** – манометр

Схема гидро разрыва пласта

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Гидроразрыв пласта

Выполняемые при гидроразрыве **операции:**

- 1. **Подготовка** скважины – исследование на приток или приемистость, что позволяет получить данные для оценки давления разрыва, объема жидкости разрыва и других характеристик.
- 2. **Промывка** скважины жидкостью с добавкой в нее определенных химических реагентов.
- 3. **Закачка** жидкости разрыва. В зависимости от свойств призабойной зоны скважины и других параметров используют либо фильтрующиеся, либо слабофильтрующиеся жидкости.
- 4. **Закачка жидкости-песконосителя**
- Основными требованиями к **жидкости–песконосителю** являются высокая пескоудерживающая способность и низкая фильтруемость. Это–вязкие жидкости, загущенная соляная кислота и др.
- **Наполнитель** должен быть инертным по отношению к продукции пласта и длительное время не изменять своих свойств.
- 5. **Закачка** продавочной жидкости, в качестве которой используются жидкости с минимальной вязкостью.
- **Для создания искусственных непроницаемых водоупоров** из глиноцементной смеси или твердеющих синтетических смол, **закачиваемых после гидроразрыва** пород с целью создания пропластков разработаны специальные **методики**.

# Система подземного скважинного выщелачивания

## Гидроразрыв пласта

- Системы разработки месторождений методом ПВ с созданием гидрозавес и гидроразрыва пород **отличаются трудоемкостью и повышенными затратами**, но эффект от создания таких экранов, **предотвращающих растекание рабочих растворов** эксплуатационных блоков, объясняет проводимые поиски способов их создания.
- Для **гидроразрыва**, приготовления и закачивания растворов чаще всего применяются специальные устройства-цементируемые агрегаты или инъекционные комплексы.

# Насос инъекционный

- Гидравлическая схема насоса позволяет плавно регулировать расход цементного (бентонитового) раствора, а также давление нагнетания.

Привод:

- электрический 5,5 кВт, либо
- пневматический (макс. давление в пневмосистеме 1,0 МПа, расход воздуха 10 м<sup>3</sup>/мин.)
- Масса насоса 370 кг
- [info@cct-drill.ru](mailto:info@cct-drill.ru)
- Компания ССТ-специальная строительная техника
- Россия, г. Москва, 1-Магистральный тупик, д. 5а, БЦ "Magistral Plaza"
- 614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 34, офис 113



# Комплекс инъекционный «Мини»

- Комплекс инъекционный "Мини" предназначен для приготовления и нагнетания под давлением цементного или цементно-глинистого раствора для заполнения сформированных трещин.

## Технические характеристики

максимальное давление	10 МПа,
объем бака смесителя	200 л,
объем бака накопителя	500 л
производительность	5-8 м <sup>3</sup> /ч



# Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные преимущества процесса ПСВ.
2. Перечислит минералы наиболее благоприятные для отработки методом ПСВ.
3. Назовите основные виды растворителей урановых руд.
4. Перечислите основные стадии отработки ПСВ. Дайте им краткую характеристику.
5. Что включает в себя процесс подготовки и отработке методом ПСВ?
6. Назовите основные учетные единицы в структуре скважинных систем отработки методом ПСВ. Дайте им краткую характеристику.
7. Назовите группы скважинных систем ПСВ. Дайте им краткую характеристику.
8. Охарактеризуйте ячеистую систему расположения скважин.
9. Охарактеризуйте линейную систему расположения скважин
10. Охарактеризуйте систему разработки с использованием противодиффузионных завес





**Спасибо за внимание !**