

Ж 53
А92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная энергия

Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ДВЕНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 24 ■ Июнь ■ Вып. 6

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора),
И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ
(зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕ-
РЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО,
В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

- Н. В. Губкин, Д. Т. Десятников, И. К. Руднева. Пре-
имущество применения метода подземного выще-
лачивания урана в условиях обводненных пла-
стовых месторождений 511
- А. И. Zubov, Г. Н. Котельников. Жилые твердые
битумы в урановом месторождении 514
- М. Х. Ибрагимов, А. В. Жуков. Метод расчета нерав-
номерностей температуры в пучках твэлов, охлаж-
даемых жидкими металлами 520
- М. Н. Ивановский, Ю. В. Милованов, В. И. Субботин.
О характере зависимости коэффициента тепло-
отдачи при капельной конденсации от темпера-
турного напора 523
- И. Т. Мишев, М. Г. Христова. Исследование концен-
трации радиоактивного газа Ar^{41} в воздухе, выбра-
сываемом через трубу реактора ИРТ-1000 530
- И. А. Кондуров, А. И. Егоров, Д. М. Каминер,
Е. М. Коротких, А. М. Никитин. Измерение сече-
ний захвата нейтронов радиоактивными ядрами
 Co^{58m} , Co^{64} и Sc^{46} 533
- В. И. Белоглазов; Ю. М. Базаев, А. К. Вальтер,
В. А. Вишняков, Ф. С. Гороховатский, И. А. Гри-
шаев, Ю. И. Добролюбов, Е. В. Еременко, А. И. Зы-
ков, В. М. Кобезский, В. В. Кондратенко,
Г. Ф. Кузнецов, Н. И. Мочешников, В. В. Муфель,
В. И. Мякота, В. В. Петренко. Линейный ускоре-
тель электронов на 2 Гэв. Физико-технического
института АН УССР 540
- В. Б. Красовицкий, В. И. Курилко, М. А. Стржеме-
чный. Нелинейная теория взаимодействия моду-
лированного пучка с плазмой 545
- Ю. В. Скобцев, Э. И. Юрченко. Движение пролетных
частиц в системе с минимумом V 549
- Ф. В. Кондратьев, Г. В. Синютин. Исследование рабо-
ты цезиевого термоэмиссионного преобразователя
с вольфрамовым катодом 553
- В. С. Кеесельман. Аналитические соотношения для
расчета глубины проникновения ионов в вещество 557

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- М. П. Леончук. Расчет переходных режимов парогене-
ратора на ЦВМ 564
- С. А. Козловский, В. С. Кызьюров, А. А. Сметанин.
Определение потока быстрых нейтронов детекто-
ром $ZnS(Ag)$ + плексиглас и детектором Бассона 564
- В. А. Брикман, В. П. Савина. Исследование объем-
ных полей поглощенных доз нейтронных излуче-
ний в полиэтиленовом образце 565
- В. А. Брикман, В. П. Савина. Экспериментальное
исследование объемных полей поглощенных доз
реакторного γ -излучения в полиэтиленовом образце 566
- В. П. Громов, Ю. Ф. Zubov, Д. Б. Поаднеев. Рассеяние
быстрых нейтронов железными и алюминиевыми
барьерами 567

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

- Л. Н. Москвин, В. И. Портнягин. Влияние солей
 Na , K , Mg и Ca на экстракцию Ce и Y Д2ЭГФК
из кислых растворов 568
- М. К. Ют. Коррозия сталей и никелевых сплавов
в расплавах натрийборсиликатных стекол при тем-
пературах 1000 и 1200°С 570
- Г. Н. Маслов, Ф. Насыров, Н. Ф. Пашкин. Гамма-
излучение при взаимодействии нейтронов с энер-
гией 14 Мэв с ядрами атомов B , C , N , O , F , Al 573
- Г. И. Михайлов, Л. П. Старчик. Анализ лития по вы-
ходу реакции $Li^2(\alpha, \alpha')Li^2*$ 575
- В. А. Толстиков, В. П. Королева, В. Е. Колесов,
А. Г. Довбенко, Ю. Н. Шубин. Радиационный
захват быстрых нейтронов ядрами Sn^{122} , Sn^{124}
и Sb^{121} , Sb^{123} 576
- Р. В. Джагапшания, Ю. Г. Ляскин, Л. И. Хейфец,
В. И. Коеротов, В. И. Мукосей. Расчет коэффи-
циента полезного действия шарового источника
 β -излучения 580
- О. В. Федоров. Спирально-молибдатный тип зоны окис-
ления 582



П 235609
~~225473/м~~

РЕПОЗИТОРИЙ Ф. СКОРИНЫ

Преимущество применения метода подземного выщелачивания урана в условиях обводненных пластовых месторождений

Н. В. ГУБКИН, Д. Т. ДЕСЯТНИКОВ, И. К. РУДНЕВА

УДК 622.775:622.349.5

В последнее десятилетие в СССР и за рубежом открыто и разведано большое число пластовых месторождений урана, сложенных в основном пластами песков, чередующимися с пластами плотных глин. Оруденение представлено разобщенными между собой линзами, залегающими на разных глубинах. В одних случаях рудоносные пласты обводнены, в других — сдrenированы и месторождения практически сухие.

Примером осушенных месторождений осадочного типа естественным путем могут служить многие месторождения плато Колорадо, а также месторождения Южной Дакоты и Вайоминга

в США. Пластовые месторождения Советского Союза, как правило, обводнены, причем большей частью напорными водами.

Урановое оруденение одного из характерных пластовых месторождений Советского Союза приурочено к осадочным породам мезозоя, залегающим на кристаллическом фундаменте палеозоя (рис. 1). Рудовмещающий горизонт находится в верхнетуронских отложениях, представленных пачкой аллювиальных гравелитов, песчаников и песков на слабом глинистом цементе с прослоями глин и алевритов. Горизонт хорошо выдержан и прослеживается на значительном протяжении; его мощность

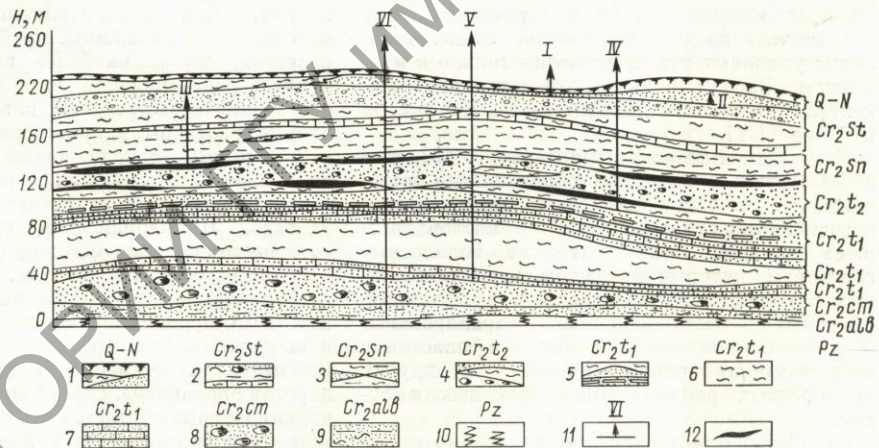


Рис. 1. Геологический разрез месторождения:

1 — суглинки, алевриты суглинистые на карбонатном цементе; 2 — пески, глины и алевриты с прослоями песчаника; 3 — глины алевритовые с прослоями песчаников и известняков; 4 — пески, гравелиты и конгломераты с прослоями глин и алевритов; 5 — алевриты и глины с прослоями песков и песчаников (в основании доломиты); 6 — глины алевритовые; 7 — песчаники на карбонатном цементе; 8 — конгломераты, гравелиты, песчаники; 9 — песчано-углистые глины и алевриты; 10 — известняки; 11 — пьезометрический уровень и величины напоров водоносных горизонтов; 12 — рудоносные линзы

10—15 м. Месторождение относится к группе осадочно-инфильтрационных. Рудные тела часто имеют в разрезе валообразную форму (роллы).

Месторождение обводнено шестью напорными водоносными горизонтами. В отработке месторождения основную роль играют третий водоносный горизонт (рудовмещающий) и второй, залегающий выше рудоносного. Оба горизонта распространены по всей площади месторождения. Второй горизонт приурочен к мелкозернистым пескам и трещинным известнякам. Гидростатические напоры горизонта в некоторых частях месторождения достигают 350 м. Породы третьего водоносного горизонта представлены гравелитами, конгломератами и слабыми глинистыми песчаниками. Горизонт напорный. Пьезометрический уровень в естественных условиях находится на глубине 0—50 м от дневной поверхности. Среднее значение коэффициента фильтрации 5 м/сутки.

Пластовые месторождения плато Колорадо, Вайоминга и Дакоты сложены из осадочных пород триасового возраста формации Чинл, в нижней части которой расположены урановые залежи. Последние чаще всего находятся в породах Шайнарамп — в конгломератах и песчаниках. Большая часть рудных тел представляет собой неправильные линзы, вытянутые параллельно направлению древних эрозионных впадин: «русл» и «промоин». Реже рудные тела представляют собой роллы. Скопления урановых руд приурочены только к промоинам. Запасы руды в отдельных залежах колеблются от нескольких тонн до 750 тыс. т и более [1,2].

Указания, имеющиеся в литературе [3], свидетельствуют о том, что обводненные месторождения весьма немногочисленны, причем обводненность связана только с приповерхностными водами. Более глубокие водоносные горизонты, которые в предшествующие геологические эпохи играли роль в образовании урановых месторождений, сдренированы, и в настоящее время почти все пластовые месторождения плато Колорадо и других урановых районов США практически сухие.

Отработка естественно осушенных месторождений пластового типа может быть осуществлена открытыми или подземными классическими горными способами. Однако отрабатывать карьерами или подземными выработками рентабельно только крупные линзы с достаточными запасами. Вместе с тем рудные залежи в пла-

стовых месторождениях могут быть настолько малы по размерам, так прихотливо распределены и содержат такие низкосортные руды, что проводить для разработки их капитальные горные работы нецелесообразно. Отрабатывать же обводненные пластовые месторождения обычными горными способами труднее, при этом на единицу запасов требуются большие затраты, так как необходимо предварительное осушение таких месторождений, которое к тому же длится значительное время. Кроме того, при подземной отработке обводненных пластовых месторождений проходка горных выработок в толще рыхлых песчано-глинистых отложений связана с проявлениями большого горного давления, возможными внезапными обрушениями кровли, значительными потерями и разубоживанием. Все эти обстоятельства обусловили разработку метода подземного выщелачивания урана из разобленных относительно бедных залежей пластовых месторождений плато Колорадо, Южной Дакоты и Вайоминга [4].

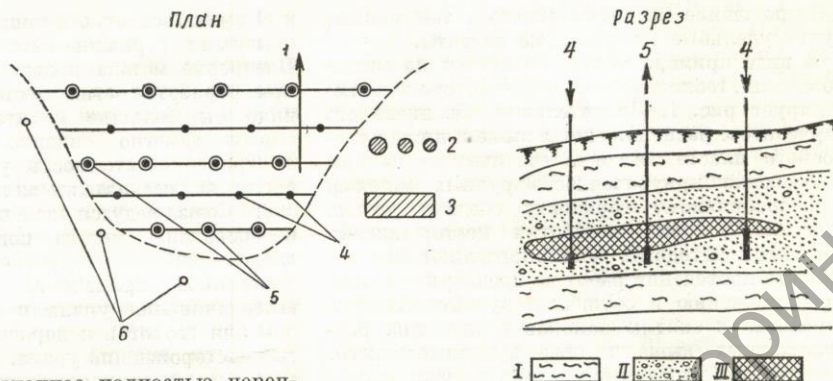
Способ подземного выщелачивания обработки месторождения состоит в следующем. Путем введения в продуктивный пласт химических реагентов полезный компонент переводится в раствор и в таком виде извлекается на поверхность. При подземном выщелачивании дорогостоящие горные работы, как правило, отсутствуют. Для осуществления этого метода используются скважины, пробуренные с таким расчетом, чтобы наиболее выгодно подавать в пласт растворяющий компонент и извлекать обогащенные растворы на поверхность. Извлеченные растворы направляются на сорбционные колонны, расположенные в непосредственной близости от скважин, а конечный продукт в виде концентрата поступает для переработки на завод. Примерная схема отработки пластового месторождения методом подземного выщелачивания показана на рис. 2.

Несмотря на то что пластовые месторождения США практически сухие и располагаются в засушливом климате, где, по словам авторов патентов, «пополнение жидкости является дорогой операцией», способ подземного выщелачивания урана считается в США рентабельным при средней стоимости урана в закиси-окиси 7,92 долл. за 1 фунт (примерно 20 руб. за 1 кг).

Практически одновременно с США способ подземного выщелачивания урана на месторождениях пластового типа был предложен и в СССР. После нескольких лет проведения экспериментальных работ одно из пластовых

Рис. 2. Схема обработки пластового месторождения методом подземного выщелачивания:

1 — направление уклона рудомещающего горизонта; 2 — сорбционные включения; 3 — нагнетательная скважина; 4 — нагнетательные скважины; 5 — откачные скважины; 6 — наблюдательные скважины; I — водоупорный горизонт; II — рудомещающий горизонт; III — рудная залежь.



месторождений, признанное полностью нерентабельным для шахтного способа добычи, обрабатывается подземным выщелачиванием. При этом затраты на получение 1 кг урана почти вдвое ниже, чем при обычных горных работах в наиболее простых геологических условиях.

Основным преимуществом метода подземного выщелачивания по сравнению с классическим горным способом является то, что подземные воды из фактора, мешающего ведению горных работ, превращаются в одну из важнейших предпосылок применения этого метода.

В основу технологической идеи подземного выщелачивания положено представление о пласте как о естественном перколяторе. Образование пластовых инфильтрационных урановых месторождений связано с тем, что в водопроницаемый пласт, как правило, ограниченный сверху и снизу водоупорами, подземный компонент был принесен подземными водами и отложен при благоприятной окислительно-восстановительной обстановке. Если искусственным путем создать противоположные геохимические условия и обеспечить проточность рудоносного пласта, то уран из руды будет поступать в раствор и вместе с последним перемещаться по проницаемым породам. Зная литологию и морфологию пласта, можно регулировать процесс передвижения этих растворов с последующим их извлечением на поверхность. Если в настоящее время рудоносный пласт практически сухой, как это имеет место на многих пластовых месторождениях США, он должен быть обводнен искусственным способом, на что требуются значительные количества воды, а следовательно, и дополнительные затраты.

Процесс регулирования выщелачивания урана из руд и извлечения ураноносных растворов легко осуществляется в обводненных пластах,

и особенно в водонапорных системах, где можно искусственно влиять на время насыщения пласта реагентом и произвольно устанавливать пути и скорости течения растворов по проницаемым породам. Наличие водонапорного режима особенно существенно для глубоко залегающих рудоносных пластов, так как при скважинном варианте добычи в этом случае значительно облегчается доставка обогащенных ураном растворов на поверхность. При условии естественного обводнения пласта, особенно водонапорного режима, нетрудно создать необходимую гидравлическую и геохимическую обстановку для управления процессом выщелачивания без затраты дополнительных средств.

В случае естественной обводненности месторождений легко осуществить такие гидравлические завесы, позволившие бы резко сократить разбавление обогащенных ураном растворов в пласте, которое происходило бы при свободном притоке свежих вод к выщелачиваемому рудному телу и тем самым сократить расход реагентов. Наконец, обводненность позволяет практически устранить потери реагентов и обогащенных растворов на растекание, происходящее в сухих породах. Таким образом, при обработке способом подземного выщелачивания обводненных месторождений исключается одна из основных статей затрат, лимитирующая применение этого способа в США.

Если и при необходимости искусственного обводнения пласта рентабельно обрабатывать выщелачиванием даже небольшие отдельные залежи, как это имеет место в США, то тем более выгодно выщелачивать обводненные пластовые месторождения, причем чем крупнее

месторождение по своим запасам, тем меньше будут удельные капитальные затраты.

В виде примера можно сослаться на месторождения, геологический разрез которого иллюстрирует рис. 1. Значительная обводненность горизонтов, расположенных выше и ниже рудоносного пласта, высокие статические напоры и особенно приуроченность рудных залежей к водообильному горизонту создают весьма сложные условия обработки месторождения обычными методами. Они определяют необходимость проведения работ по предварительному водопонижению и осушению рудовмещающего горизонта и снятию напоров горизонтов, расположенных выше и ниже рудовмещающего. Вместе с тем указанные условия создают весьма благоприятную обстановку для обработки месторождения подземным выщелачиванием. Ввиду этого необходимо всячески избегать осушения и даже частично водопонижения на месторождении или отдельных участках, которые можно обрабатывать этим методом.

Экономические расчеты показали, что капитальные затраты на освоение такого месторождения классическим горным способом будут по крайней мере в два раза выше, чем при обработке его методом подземного выщелачивания. Себестоимость конечного продукта при подземном выщелачивании будет, как минимум, в два раза ниже, чем при шахтном способе. Это подтверждается отчетными данными с действующих объектов.

В Советском Союзе насчитывается значительное количество обводненных месторожде-

ний урана осадочного типа, обработка которых обычными горными методами нерентабельна. Внедрение метода подземного выщелачивания при обработке этих месторождений высвободило бы большие капиталовложения и тем самым заметно снизило бы сложившуюся в стране себестоимость урана. В настоящее время на нескольких месторождениях Советского Союза ведутся экспериментальные работы по освоению метода подземного выщелачивания.

Широкое применение метода подземного выщелачивания урана послужило бы стимулом для геологов к доразведке многих открытых месторождений урана, которая в настоящее время законсервирована из-за отсутствия рентабельных способов обработки.

Поступила в Редакцию 14/XII 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Вуд. В кн. «Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955)». Т. 6. М., Гостехиздат, 1958, стр. 365.
2. Р. Шоу. Там же, стр. 397.
3. У. Вудманси. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Т. 8. М., Атомиздат, 1959, стр. 100.
4. Патенты США. К. В. Ливингстон. «Метод разработки руд выщелачиванием на месте их залегания», № 2, 818, 240, 31/XII 1957 г.; Д. Р. Менке. «Метод извлечения урана из залежи», № 2, 896, 930, 28/VII 1959 г.; Д. И. Дью, В. Л. Мартин. «Обжиг и выщелачивание урановых руд на месте их залегания», № 2, 954218, 27/IX 1960 г.

Жильные твердые битумы в урановом месторождении

А. И. ЗУБОВ, Г. Н. КОТЕЛЬНИКОВ

УДК*549:553.9

В настоящее время твердые битумы установлены во многих жильных гидротермальных месторождениях урана. Однако изучены они очень мало. Характеризуемое ниже гидротермальное жильное месторождение урана необычно, так как главным жильным минералом в основном типе руд этого месторождения является твердый битум, что и обуславливает специфику геологических поисков этих руд.

Краткие сведения о геологии района и некоторые особенности поисков рудных тел с урансодержащими твердыми битумами

Месторождение урана с твердыми битумами располагается в осевой части меридионально

ориентированной складчатой области, формирование которой закончилось в альпийскую фазу тектогенеза.

Радиометрическими методами (гамма-поиски масштаба 1 : 25 000 и шпуровая съемка масштаба 1 : 2000 с использованием сцинтилляционных радиометров) и сравнительно небольшим числом горных выработок оконтурено крупное рудное поле, расположенное среди пород кристаллического фундамента, представленных нижнепалеозойскими метаморфизованными хлорит-серицитовыми, биотит-мусковит-кварц-полевошпатовыми и кварц-графитовыми сланцами, амфиболитами, массивными кварцитами и мраморами.