

УДК 622.349.5

К.Д. Полиновский

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Показано, что ни один из способов интенсификации ПСВ не позволяет ускорить извлечение урана сразу из всех минеральных и неминеральных форм, присутствующих на ролловых месторождениях, поэтому лишь одновременное применение двух (или более) способов интенсификации ПСВ может быть достаточно эффективным.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание, пероксосерная кислота, ацидофильные тиобактерии.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) используется, главным образом, при отработке пластово-инфильтрационных месторождений роллового типа, сформированных на восстановительном или сорбционном барьерах (чаще всего — на комплексном восстановительно-сорбционном). Специфика ролловых месторождений такова, что в пределах одного месторождения уран неизбежно содержится в различных формах (как минеральных, так и неминеральных), причем в различных зонах ролла преобладают различные урансодержащие формы [1]. Кроме того, на многих месторождениях имеет место существенный разброс коэффициента фильтрации на различных участках. Все эти особенности необходимо учитывать при выборе технологии ПСВ для обеспечения высокой эффективности процесса.

Способы интенсификации ПСВ делятся на 4 класса — гидродинамические, физические, физико-химические и химические. Рациональность применения тех или иных способов зависит от характера конкретного месторождения (условий залегания, минерального состава и свойств вме-

щающих пород и урановых руд и пр.) [2].

Гидродинамические способы имеют целью увеличение скорости фильтрации растворов в целом и обеспечение максимальной равномерности скорости фильтрации.

Физические, химические и физико-химические способы, как правило, имеют целью интенсификацию химических превращений, хотя некоторые из них могут также обеспечить увеличение скорости фильтрации растворов. Физические и физико-химические способы интенсификации процесса ПСВ в настоящее время применяются весьма ограниченно из-за высоких энергозатрат, хотя в регионах с низкой стоимостью электроэнергии в ряде случаев их применение может быть весьма эффективным. Например, разработанный в Республике Казахстан (РК) физико-химический способ, предусматривающий получение раствора для выщелачивания металлов из руд путем электролиза серной кислоты (в результате чего образуется сильный окислитель — пероксосерная кислота) и последующего разбавления отработанного анолита [3], не нашел применения в РК вследствие резкого

роста стоимости электроэнергии в ураноносных регионах (до 0,075 долл/кВт·ч в конце 2008 г.). Однако для ураноносных регионов РФ, где стоимость электроэнергии составляет всего 0,016—0,028 долл/кВт·ч, указанный способ представляется вполне перспективным.

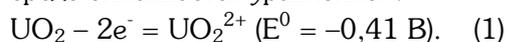
Таким образом, наиболее эффективными из способов интенсификации процесса ПСВ являются химические и гидродинамические, причем гидродинамические способы более эффективны когда процесс лимитируется скоростью фильтрации (т.е. при извлечении урана из легковыщелачиваемых руд, либо при пониженной проницаемости пласта). Химические же способы более эффективны, когда процесс лимитируется скоростью химической реакции (т.е. при извлечении урана из трудновыщелачиваемых руд). Следовательно, выбор того или иного способа интенсификации процесса ПСВ определяется тем, какая из стадий процесса является лимитирующей — кинетическая или диффузионная.

Рассмотрим более подробно, в каких формах содержится уран на ролловых месторождениях РФ и РК (с учетом того, что значительная часть месторождений РК разрабатывается совместными казахстанско-российскими предприятиями). В минеральной форме уран представлен, как правило, коффинитом и настураном, а также урановыми чернями — специфической разновидностью настурана, которую иногда рассматривают как самостоятельный минерал. На месторождениях РФ, характерной чертой которых является повышенное содержание титана, незначительная часть урана представлена браннеритом и давидитом. Кроме того, уран присутствует в качестве примеси в ряде минералов — цирконе, кальците, доломите и др. В неминеральной фор-

ме уран представлен, как правило, сорбатами на органических веществах (растительном и рыбном детрите), а также глинах, лимоните и др.

Настуран представляет собой оксид урана состава UO_{2+X} , где $X=0,08\div 0,67$. При этом коэффициент X , которым определяется степень окисленности настурана, изменяется в указанных пределах (как правило, в зоне восстановления $X=0,08\div 0,25$, в зоне окисления — $0,50\div 0,67$). Фактически настуран содержит оксиды урана состава UO_2 , U_4O_9 ($=3UO_2 \cdot UO_3$, $UO_{2,25}$) и U_3O_8 ($=UO_2 \cdot 2UO_3$, $UO_{2,67}$) в различных соотношениях (существование оксидов U_3O_7 ($=2UO_2 \cdot UO_3$) и U_2O_5 ($=UO_2 \cdot UO_3$) не доказано). Кристаллографический анализ показывает, что предельная степень окисленности, при которой сохраняется кристаллическая решетка настурана, соответствует U_3O_8 .

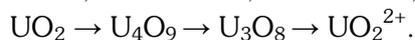
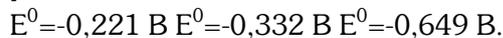
В большинстве литературных источников окисление настурана в кислой среде описывается уравнением:



Однако при этом не учитывается, что энергия связи UO_2 и UO_3 в сложных оксидах довольно значительна — термодинамический расчет по данным [4] дает результат:



Соответственно, окисление настурана идет постадийно:



Таким образом, окисление UO_2 в U_4O_9 протекает при очень низком значении окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), U_4O_9 в U_3O_8 — при несколько более высоком, а окисление U_3O_8 в UO_2^{2+} требует значительно более высокого ОВП — на 0,239 В выше, чем для

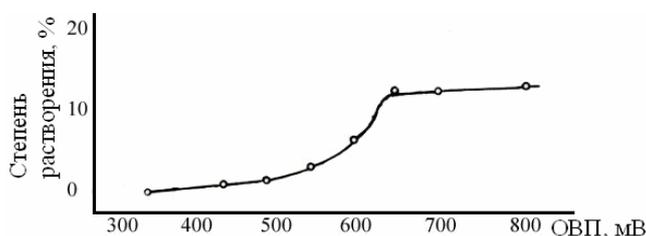
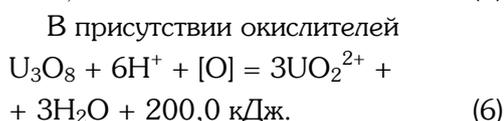
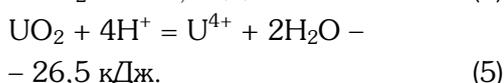
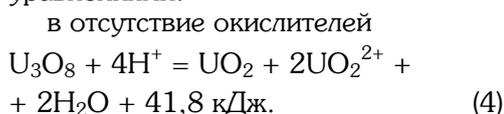


Рис. 1. Зависимость степени растворения UO_2 (за 1 час) в растворе H_2SO_4 (25 г/л) от ОБП (по данным [5])

реакции (1), поэтому в месторождениях роллового типа в зоне окисления в довольно широкой области ОБП настуран присутствует именно в виде U_3O_8 . При сернокислотном способе ПСВ (общепринятом в РФ и РК) выщелачивание U_3O_8 описывается уравнениями:



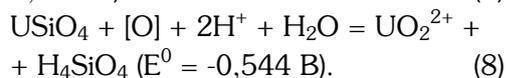
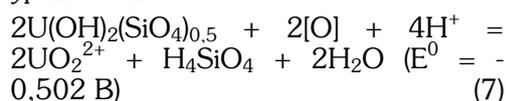
Поскольку реакция (5) является эндотермической, при ПСВ степень извлечения урана (4+) пренебрежимо мала (по данным [5], при сернокислотном выщелачивании U_3O_8 в растворах наблюдается соотношение $UO_2^{2+}/U^{4+} \approx 300$), поэтому в отсутствие окислителей максимальная степень извлечения урана из U_3O_8 составляет $\approx 67\%$, а в присутствии окислителей — 100% . При этом, поскольку тепловой эффект реакции (6) значительно выше, чем реакции (4), в присутствии окислителя скорость выщелачивания многократно возрастает даже для высокоокисленного настурана. Расчет показывает, что в уравнении (4) константа реакции равна

единице только при $pH=1,83$, тогда как в уравнении (6) уже при наличии 1 мМ (16 мг/л) кислорода константа реакции равна единице уже при $pH=5,33$. Таким образом, при наличии

эффективного окислителя высокоокисленный настуран выщелачивается даже в слабокислой ($pH \approx 5$) среде, тогда как в отсутствие окислителя — только в среде с $pH \approx 2$.

Однако, если используемый окислитель не может обеспечить создание достаточно высокого ОБП, реакция (6) в одну стадию протекать не может. В этом случае сначала происходит выщелачивание урана по уравнению (4), а затем окисление оставшегося UO_2 до U_3O_8 , после чего реакция (4) возобновляется. В конечном итоге максимальная степень извлечения урана из U_3O_8 также достигает 100% , однако скорость процесса в этом случае не выше, чем в отсутствие окислителя. Таким образом, зависимость скорости выщелачивания настурана от ОБП носит нелинейный характер (см. рис. 1).

Коффинит $U(OH)_{4Y}(SiO_4)_{1-Y}$ (где $Y=0 \div 0,5$), по сути, представляет собой изоморфную смесь двух минеральных форм — собственно коффинита $USiO_4$ с $Y=0$ и гидроксокоффинита $U(OH)_2(SiO_4)_{0,5}$ с $Y=0,5$, которые в присутствии окислителя сравнительно легко выщелачиваются кислотами по уравнениям:



В коффините атомы урана изолированы друг от друга кремнекислородными тетраэдрами, поэтому его окисление протекает в одну стадию, так что значение E^0 в реакциях (7, 8) от степени окисленности не зависит (в отличие от настурана).

При растворении в кислотах ортосиликатов (к которым относится коффинит) образуется пересыщенный раствор ортокремниевой кислоты H_4SiO_4 . Пересыщенные растворы H_4SiO_4 при $pH=1,5\div 3$ весьма устойчивы, но при повышении pH быстро коагулируют [6]. Поэтому для эффективного выщелачивания коффинита требуется значительно более высокая кислотность ($pH=1,5\div 3$), но при этом значительно более низкое значение ОВП, чем для эффективно выщелачивания настурана. Кроме того, исходя из принципа Ле-Шателье, есть основания полагать, что существенно интенсифицировать выщелачивание урана из коффинита можно путем регулярной очистки оборотных растворов от кремнекислоты.

Встречающиеся на месторождениях РФ **браннерит** $(U, Ca, Th, Y)(Ti, Fe)_2O_6$ и **давидит** $(U, TR, Mg, Fe^{2+})(Ti, Cr, V, Fe^{3+})_{21}O_{38}$ практически не вскрываются в серной кислоте с концентрацией 5—25 г/л, применяемой при ПСВ урана даже при использовании любых методов интенсификации, поэтому их роль далее не рассматривается. Равным образом, практически не выщелачивается уран, входящий в качестве изоморфной примеси в состав циркона $ZrSiO_4$.

Уран в органической фазе в ролловых месторождениях РК и РФ присутствует в двух различных формах — **сорбированной и минеральной**. В тех зонах месторождения, где значение ОВП положительно (в зоне аэробного окисления органики), уран присутствует на органике в

ионообменно сорбированной форме, а также в форме комплексных соединений. Уран в этих соединениях шестивалентен, поэтому для его выщелачивания окислитель не требуется, однако необходима достаточно высокая кислотность ВР ($pH < 2,18$ [7]). В тех зонах месторождения, где значение ОВП отрицательно (в зоне анаэробного окисления и в зоне неизменной органики), ранее сорбированный органикой уран быстро восстанавливается в четырехвалентное состояние, формируя мельчайшие включения настурана и коффинита внутри органической фазы [8]. Обычными методами анализа они не определяются как отдельная фаза, поэтому обычно их относят не к минеральной, а к ураноорганической фазе. При этом, поскольку органическая фаза является основным восстановителем в пласте, в процессе ПСВ основная часть содержащихся в ВР окислителей расходуется на окисление органики, и выщелачивание включений настурана и коффинита начинается только после того, как органика будет в достаточной степени окислена.

Сорбаты на глинах и лимоните содержат уран в шестивалентной форме, поэтому для его выщелачивания также окислитель не требуется, однако необходима достаточно высокая кислотность ВР. Так, с монтмориллонита в кислой среде уран полностью десорбируется только при $pH < 2,0$ [9]. Кроме того, скорость фильтрации в этих минералах столь мала, что скорость выщелачивания из них урана весьма незначительна. Интенсификация десорбции урана из глин и лимонитов может быть достигнута как физическими способами (путем повышения скорости фильтрации), так и химическими (повышением десорбционной активности ВР путем введения в его состав комплексонов).

В настоящее время количество окислителей, используемых при ПСВ урана, весьма ограничено. В большинстве развитых стран с жестким экологическим законодательством в качестве окислителей применяют пероксид водорода либо сжатый кислород, закачиваемый непосредственно в скважины. *Пероксид водорода в присутствии железа, всегда присутствующего в пласте, быстро распадается на воду и молекулярный кислород, так что эффективности пероксида и молекулярного кислорода совершенно идентичны.* При этом комплексы железа с фульвокислотами (ФК), содержащимися в органике пласта, эффективно разлагают пероксид даже в рН-нейтральной среде. Опыты [10] показали, что стабилизированный пероксид водорода в пласте полностью распадается на воду и кислород всего за несколько часов, в то время как длительность фильтрации ВР через пласт составляет недели или месяцы.

Важнейшим недостатком кислорода как окислителя является очень низкая окислительная активность в отношении урана (4+) в интервале $pH=1,8\div 2,1$, характерном для сернокислотного ПСВ урана. Кислород весьма эффективно окисляет уран (4+) в интервале $pH=4\div 5$ [11], что позволяет успешно выщелачивать уран из настурана, но не из коффинита, для выщелачивания которого требуется значительно более высокая кислотность ($pH < 3$). Поскольку большинство ролловых урановых месторождений РФ и РК характеризуются повышенной коффинитностью, при их обработке молекулярный кислород недостаточно эффективен в качестве окислителя (если не используются катализаторы, например железо или медь).

В странах СНГ при ПСВ урана в качестве окислителя используется почти исключительно железо (3+), выщела-

чиваемое из пласта. Искусственное введение его в состав ВР, как правило, не практикуется. Несмотря на то, что создаваемое железом (3+) значение ОВП ВР гораздо ниже создаваемого молекулярным кислородом, *в интервале $pH=1,5-3$ железо (3+) является гораздо более эффективным окислителем, чем кислород* [5]. Важнейшим недостатком железа (3+) является его склонность к гидролитическому осаждению при снижении кислотности, что не позволяет его использовать при $pH > 2,3$. Поэтому, хотя коффинит активно выщелачивается уже при $pH < 3$, для его эффективного окисления железом (3+) приходится поддерживать в ПР $pH \approx 1,8\div 2,2$.

Из уравнения Нернста следует, значение ОВП ВР определяется не концентрацией железа (3+) в ВР, а соотношением Fe^{3+}/Fe^{2+} . Хотя $E^0[Fe^{3+}/Fe^{2+}] = -0,771$ В, однако в сульфатных растворах по причине комплексообразования значение E^0 снижается (расчет по данным [12] показывает, что при концентрации $SO_4^{2-} = 0,05$ М (типичной для ПСВ урана) $E^0_{SO_4}[Fe^{3+}/Fe^{2+}] = -0,649$ В). В этих условиях *окисление настурана железом (3+) по уравнению (6) возможно только при $Fe^{3+}/Fe^{2+} \geq 1$, тогда как окисление коффинита возможно даже при $Fe^{3+}/Fe^{2+} < 0,02$.*

При ПСВ урана из пласта выщелачивается как железо (2+) (преимущественно из сидерита, анкерита, хлоритов), так и железо (3+) (преимущественно из лимонита). Кроме того, железо (3+) частично восстанавливается содержащейся в пласте органикой (главным образом, фенольными группами [13]), вследствие чего при ПСВ урана в продуктивных растворах (ПР) соотношение Fe^{3+}/Fe^{2+} стабилизируется на уровне 0,05-0,20. При данном соотношении Fe^{3+}/Fe^{2+} коффинит выщелачивается достаточно

быстро, а настуран — весьма медленно. Таким образом, *если в качестве окислителя используется только железо (3+), выщелачиваемое из пласта, выщелачивание настурана протекает с малой скоростью.*

Наиболее целесообразно при ПСВ урана в интервале $pH=3\div 6$ использовать в качестве окислителя молекулярный кислород или пероксид водорода, а в интервале $pH=1,8\div 2,2$ — железо (3+), однако этот способ неудобен технологически. Несколько менее эффективным, но гораздо более простым способом решения проблемы является регулярное проведение регенерации содержащегося в оборотных растворах железа (2+) в железо (3+). В качестве окислителя экономически наиболее целесообразно использовать кислород воздуха. При $pH=1,8\div 2,2$ кислород эффективно окисляет железо (2+) в железо (3+) только в присутствии катализаторов (например, азотистой кислоты или ее соединений) либо ацидофильных тиобактерий (например, *Acidithiobacillus ferrooxidans*). Первый из указанных способов регенерации в настоящее время успешно применяется в РФ, второй — в Республике Узбекистан.

Исходя из вышеизложенного, особенности урановой минерализации (преобладание настурана или коффинита) должны обязательно учитываться при выборе вида окислителя и интервала pH его применения.

Как указывалось выше, при ПСВ урана следует поддерживать в ПР $pH\approx 1,8\div 2,2$. При этом в ВР рекомендуется поддерживать $pH\approx 1,2\div 1,5$. Дальнейшее снижение pH практически не приводит к повышению скорости выщелачивания, поскольку, по данным [5], окислительная активность железа (3+) максимальна в интервале

$pH=1,8\div 2,2$, а при $pH<1,2$ резко снижается (см. рис. 2). Кроме того, по данным [6], при $pH<1,2$ существенно снижается устойчивость пересыщенных растворов кремнекислоты, что может привести к экранированию коффинита гелем кремнекислоты и, как следствие, резким снижением скорости его выщелачивания. Известно, например, что увеличение концентрации серной кислоты с 5 до 25 г/дм³ *снижает* скорость выщелачивания меди из ее силикатной руды (хризоколлы) в 3,5 раза [14].

Как следует из вышеизложенного, введение в состав ВР эффективно действующих окислителей существенно ускоряет выщелачивание настурана, в меньшей степени — выщелачивание коффинита и не влияет на скорость выщелачивания сорбатов. Поэтому *если в отсутствие окислителей кинетика процесса ПСВ лимитируется скоростью выщелачивания настурана, то в присутствии окислителей — скоростью выщелачивания сорбатов (а при низком их содержании — коффинита).* Поэтому при высоком содержании сорбированных форм урана для существенной интенсификации процесса ПСВ применения одних только

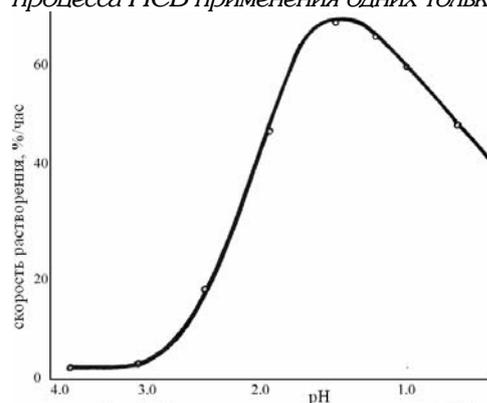


Рис. 2. Зависимость скорости растворения UO_2 в растворе $Fe_2(SO_4)_3$ от pH (по данным [5])

окислителей недостаточно. Как указывалось выше, интенсификация десорбции урана из глин и лимонитов может быть достигнута путем повышения скорости фильтрации или повышением десорбиционной активности раствора с помощью комплексонов.

Комплексоны, образующие прочные комплексы с ионами UO_2^{2+} , снижают их активность в растворе, тем самым интенсифицируя процесс выщелачивания урана. Известно, в частности, что в присутствии таких комплексонов, как ФК, ЭДТА и НТА, степень сорбции урана на монтмориллоните снижается практически до нуля [9]. Однако, при выборе комплексона следует учитывать большое количество побочных факторов. В частности, для большинства комплексонов действует правило: чем выше заряд иона, тем более прочный комплекс он образует. В связи с этим введение в состав ВР комплексонов, образующих с ионами Fe^{3+} более прочный комплекс, чем с ионами Fe^{2+} , приводит к снижению значения ОВП раствора и, как следствие, эффективности процессов окисления урана.

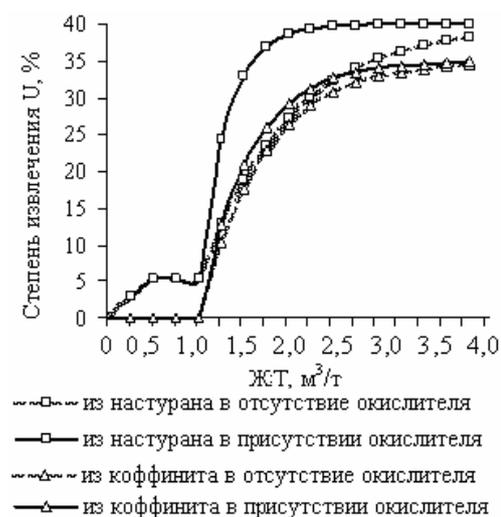


Рис. 3. Влияние окислителей на кинетику выщелачивания урана

70

В начале 21-го века достаточно активно изучалось влияние на процесс ПСВ урана добавок ФК и их более дешевых аналогов — лигносульфонатов (ЛСТ) [15-17]. Указанные добавки оказывали существенный положительный эффект, однако подробный анализ работ [15-17] показал, что положительный эффект не связан с комплексообразованием, т.к. данные добавки вводились в концентрации меньшей, чем необходимо для полного связывания ионов Fe^{3+} (образующих с ФК и ЛСТ более прочные комплексы, чем ионы UO_2^{2+}), так что ионы UO_2^{2+} оставались не связанными в комплекс.

Исследования Института Высоких Технологий (далее ИВТ) НАК «Казатомпром» показали, что положительный эффект обусловлен, во-первых, каталитическим воздействием хиноидных групп ФК и ЛСТ на процесс окисления урана [18], а во-вторых — повышением скорости фильтрации ВР сквозь труднопроницаемые прослойки глин в присутствии ФК и ЛСТ.

При ПСВ урана оптимальной считается скорость фильтрации растворов в интервале 1—10 м/сут.

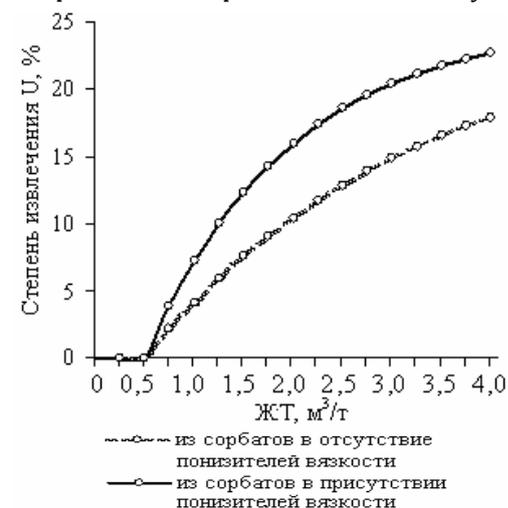


Рис. 4. Влияние понизителей вязкости на кинетику выщелачивания урана

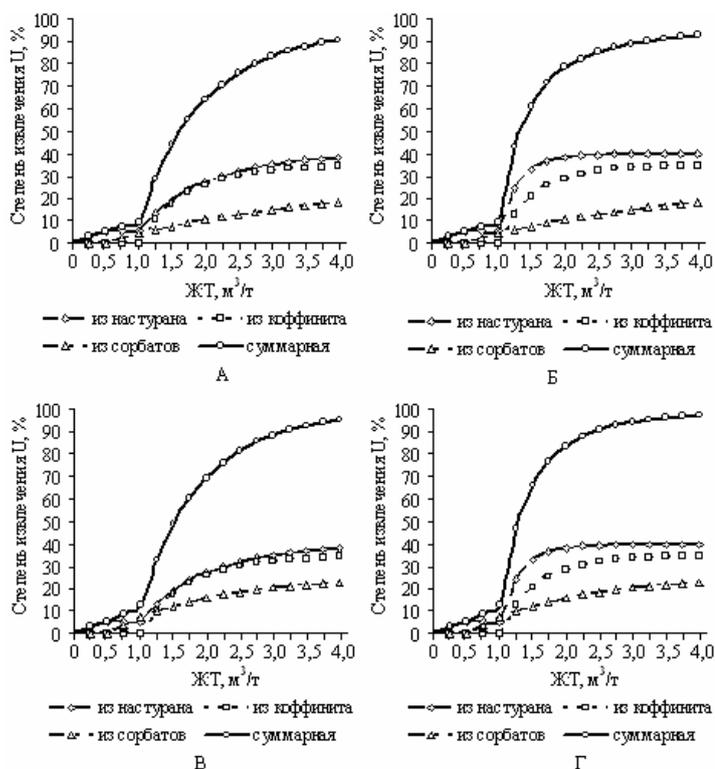


Рис. 5. Кинетика выщелачивания урана из его минеральных и неминеральных форм:

- А – в отсутствие интенсификаторов
- Б – в присутствии окислителя
- В – в присутствии понизителей вязкости
- Г – в присутствии окислителя и понизителей в вязкости

При более низкой скорости фильтрации существенно снижается скорость процесса, а при более высокой скорости фильтрации снижается концентрация урана в ПР. При повышении скорости фильтрации в 4 раза скорость извлечения урана возрастает всего в 2 раза, соответственно, концентрация урана в ПР снижается также в 2 раза [14]. Следовательно, для интенсификации десорбции урана желательно повысить не общую скорость фильтрации, а только скорость фильтрации сквозь труднопроницаемые прослойки глины и лимонита.

Известно, что глины и, в меньшей степени, лимониты образуют вязкие

взвеси, вследствие чего скорость фильтрации сквозь них существенно снижается. При буровых работах для решения этой проблемы широко используются различные понизители вязкости глинистых растворов, большинство из которых (концентрат сульфитно-спиртовой барды, феррохромлигносульфонат, нитрозированный и хлорированный ЛСТ) являются продуктами модифицирования ЛСТ. Следует отметить, что ЛСТ влияет аналогичным образом и на вязкость взвеси гидрогетита (основного компонента лимонита) [19].

Согласно формуле Стокса, в ламинарном режиме течения обратного течения пропорциональна динамической вязкости. Следовательно, введение в состав ВР понизителей вязкости позволяет повысить скорость фильтрации сквозь прослойки глины и лимонита.

Ниже приведен экстраполяционный расчет, основанный на экспериментальных данных, о влиянии различных способов интенсификации (введении в состав ВР окислителей и понизителей вязкости) на продолжительность выщелачивания до момента достижения плановой степени извлечения урана. Поскольку время выщелачивания является функцией скорости фильтрации, продолжительность выщелачивания измерялась в объемах ВР на единицу горнорудной массы ($\text{м}^3/\text{т}$) и

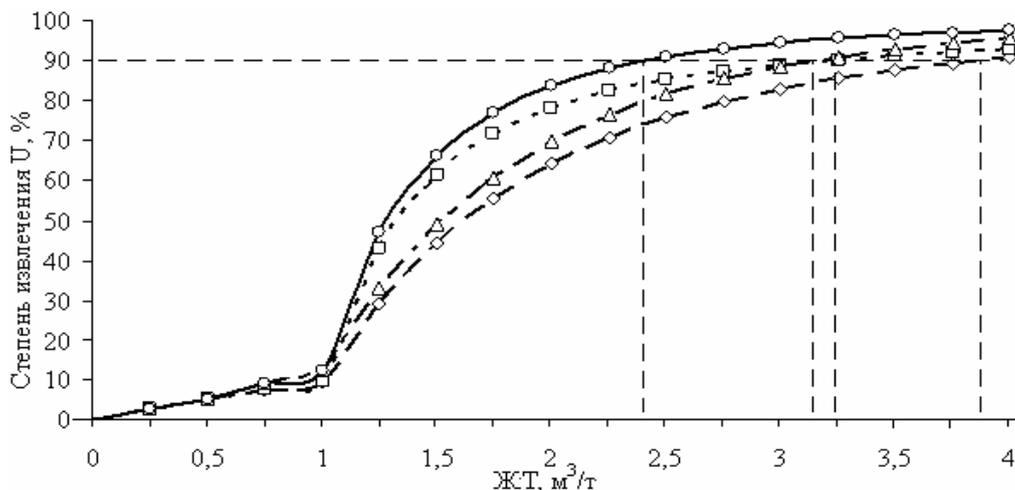


Рис. 6. Влияние интенсификаторов на кинетику выщелачивания урана:

- ◇— в отсутствие интенсификаторов
- □ - в присутствии окислителя
- △ - в присутствии понизителей вязкости
- в присутствии окислителя и понизителей вязкости

обозначалась как Ж:Т. При расчете предполагалось, что в руде 40 % урана присутствует в виде настурана и 35 % в виде коффинита (в т.ч. рассеянных внутри органического вещества), а остальные 25 % — в виде сорбатов (в т.ч. органических). Плановая степень извлечения составляет 90 %. Результаты представлены в виде рис. 3—6.

Из рис. 6 видно, что в отсутствие интенсификаторов плановый показатель извлечения (90 %) достигается при Ж:Т = 3,88 м³/т, в присутствии окислителя (например, при использовании регенерации Fe²⁺ в Fe³⁺) при Ж:Т = 3,23 м³/т (снижение на 16,8 %), в присутствии понизителей вязкости при Ж:Т = 3,14 м³/т (снижение на 19,1 %), при одновременном использовании окислителя и понизителей вязкости — при Ж:Т = 2,41 м³/т (снижение на 37,9 %), т.е. эффекты, по сути, суммируются.

Как следует из вышеизложенного, для обеспечения максимального повышения эффективности процесса ПСВ урана необходимо однове-

ренное применение нескольких способов интенсификации ПСВ, одни из которых должны интенсифицировать выщелачивание урана из минеральных форм, а другие — из неминеральных форм.

Выводы

Поскольку в ролловых месторождениях урана всегда присутствует одновременно в нескольких минеральных и неминеральных формах, причем соотношение их в разных зонах ролла колеблется в широких пределах, для эффективной интенсификации процесса ПСВ необходимо одновременное применение нескольких (как минимум, двух) разных способов интенсификации ПСВ, одни из которых должны интенсифицировать выщелачивание урана из минеральных форм (применение окислителей и катализаторов окисления, очистка оборотных растворов от кремниевой кислоты), а другие — из неминеральных форм (применение понизителей вязкости, комплексонов и др.).

1. *Лаверов Н.П.* Эволюция уранового минералообразования. – М., 1978 г.
2. *Савченко Г.А. и др.* Типовая инструкция по геотехнологии добычи урана на месторождениях, обрабатываемых методом СПВ 2002 г., Разраб. РУМЦ «Геотехнология».
3. *Предварительный патент* РК №19465 «Способ получения раствора для выщелачивания металлов из руд» (15.05.2008)
4. *Langmuir D.* Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 42, pp. 547 to 569.
5. *Каневский Е.А.* Физико-химические основы выщелачивания урана из руд, диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук. – М., 1964 г.
6. *Айлер Р.К.* Химия кремнезема, т.1-2, М., 1982 г.
7. *Манская С.М.* Геохимия органического вещества – М., 1964 г.
8. *Юдович Я.Э.* Грамм дороже тонны. Редкие элементы в углях», М., 1989 г.
9. *Корнилович Б.Ю. и др.* Влияние ЭДТА и НТА на сорбцию U(IV) глинистыми компонентами почв //ж. «Радиохимия», т.48 (2006 г.), №6, сс.525-528.
10. *Зубкова Т.А. и др.* «Катализаторы в почве» // ж. «Химия и жизнь», 2008 г., №6, сс. 26-29.
11. *Шилов В.П. и др.* «Окисление урана (IV) кислородом в слабокислых и близких к нейтральным растворах» // ж. «Радиохимия», т.49, 2007 г., №5/07, сс.412-416.
12. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. – М., 1989 г.
13. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М., 1990 г.
14. *Бейсембаев Б.Б.* Теория и практика кучного выщелачивания меди. Алматы, 1998 г.
15. *Филиппов А.П., Нестеров Ю.В.* Лигносульфат аммония — добавка, интенсифицирующая сернокислотное выщелачивание урана из руд // ж. «Химическая технология», 2001, №8. сс. 21-25.
16. *Шаталов В.В., Филиппов А.П. и др.* Полевые испытания сернокислотного подземного выщелачивания урана с использованием лигносульфоната аммония // ж. «Химическая технология», 2001 г., №11, сс. 27–30.
17. *Филиппов А.П. и др.* Лигносульфаты — интенсификаторы сернокислотного выщелачивания урана из руд (ОАО «Атомредметзолото», Москва, РФ) // Из материалов III-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы урановой промышленности», Алматы, 07-09.07.2004 г., сс.77-83.
18. *Батыршаева Г.С., Полиновский К.Д. и др.* К вопросу о механизме интенсифицирующего воздействия лигносульфоната и фульвеновых кислот на процесс подземного скважинного и кучного выщелачивания урана» // Сборник докладов IV-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 19-21 сентября 2006 г., сс.193-197.
19. *Сапотницкий С.А.* Использование сульфитных шелоков. – М., 1981 г. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Полиновский Константин Дмитриевич — кандидат технических наук, главный менеджер «Отдела химической технологии и редких металлов» ТОО «Институт Высоких Технологий» НАК «Казатомпром», E-mail: C.Polinowski@mail.ru



ТРУДНЫХ НАУК НЕТ, ЕСТЬ ТОЛЬКО ТРУДНЫЕ ИЗЛОЖЕНИЯ

А. Герцен