

УДК 622.775

**Н.Г. Малухин, С.В. Маркелов, Ш.Ш. Аликулов,
Т.А. Казаков, А.С. Нарзиев**

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ УРАНОВЫХ РУД

Проведен расчет изменения степени извлечения урана из плохопроницаемых глинистых прослоев континентальных и морских фаций от исходного его содержания при различной продолжительности отработки продуктивной толщи фильтрационным потоком реагента. Расчеты по выщелачиванию урана проведены с учетом выявленных средних мощностей всех плохопроницаемых глинистых прослоев в разрезе продуктивной толщи, а также с учетом их фильтрационных свойств. Рекомендовано глинистые плохопроницаемые прослои при содержаниях урана $\alpha_i > 1,0\%$ выщелачивать в блоках с предварительной отбойкой и магазинированием.
Ключевые слова: геотехнологическая скважина, гидродинамические режим, кольматация и восстановления скважин, восстановления дебитов скважины.

Из литературных источников и практики подземного выщелачивания (ПВ) урановых руд известно, что эффективность процесса ПВ плохопроницаемых глинистых рудоносных пород в естественном залегании, в основном, контролируется стадиями подвода реагента к поверхности рудного минерала и перенос растворенного полезного компонента через гидратный пристеночный структурированный микрослой (ГПСМ) в объем фильтрационного потока. Стадия химического взаимодействия выщелачивающего реагента с хорошо растворимыми урановыми минералами, т.е. скорость химической реакции, как правило, не лимитирует скорость процесса.

Лабораторные исследования и опыт промышленного выщелачивания урановых руд месторождений, приуроченных к глинистым плохопроницаемым отложениям, свидетельствуют, что для таких типов руд степень извлечения металла (ϵ), достигшая 70–

75 %, а иногда 80 % достаточно удовлетворительно описывается уравнением

$$\sum Me = K \cdot t^\mu, \quad (1)$$

где $\sum Me$ – суммарное количество добытого металла, ед. веса; K, μ – коэффициенты, устанавливаемые экспериментально, характеризуют диффузионную массо-передачу в зависимости от вещественного состава руды, типа реагента; t – продолжительность времени выщелачивания, сут.

При этом показатель μ (установлено нами), наиболее часто оказывается равным 0,5. При значениях $\epsilon > 70+80\%$ (от 70–80 % до 90–95 %) интенсивность выщелачивания урана из глинистых рудоносных пород резко замедляется. Показатель μ принимает значение меньше 0,5. Наиболее часто $\mu = 0,33$. Это объясняется тем, что, во-первых, выщелачиваются, главным образом, наиболее труднодоступные

для растворов глинистые разности и наименее растворимые минералы урана, а, во-вторых, достигается стадия максимального насыщения уранильными комплексами ГПСМ. Снижается величина химического градиента, замедляется процесс диффузии на границе раздела фаз – минеральное твердое тело – ГПСМ. Поэтому на интенсивность процесса выщелачивания при данных условиях влияет не только скорость диффузного массопереноса, но и скорость химической реакции с «упорными» урановыми минералами.

Из анализа результатов лабораторных работ и технологических показателей эксплуатации блоков ПВ глинистых рудоносных пород выявлено, что, применительно к фильтрационно-неоднородной толще, закономерность проникновения растворов в глубь плохопроницаемых прослоев мощностью m при фильтрации выщелачивающих растворов по хорошопроницаемым слоям подчиняется зависимости

$$l = \sqrt{16 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 K_{\phi}^H} \leq \frac{m}{2}, \text{ м} \quad (2)$$

При этом градиент фильтрации растворов не менее 20, а начальный K_{ϕ} относительно хорошопроницаемых слоев (около 70 % от общей мощности продуктивной толщи) не ниже $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ м/сут.

При анализе учитывались следующие исходные данные:

1. Содержание урана в плохопроницаемых прослоях $\alpha u = 0,5С; 0,67С; 1,0С; 1,33С; 1,67С; 2,0С; 3,0С$ (С – величина содержания урана в забалансовых рудах традиционного горного способа добычи, равная 0,03) и равномерно распределено по всей мощности прослоя при любом принятом его значении;

2. Максимальная продолжительность выщелачивания блока ПВ не превышает 1100 суток (3 года);

3. Коэффициент фильтрации плохопроницаемых глинистых рудоносных пород находится в пределах $10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут;

4. Характер распределения мощностей рудоносных прослоев в пределах продуктивной толщи соответствует установленной закономерности и в диапазоне $m < 0,05$ м средняя мощность плохопроницаемых слоев $m_{cp.} = 0,03$ м; в диапазоне 0,05–0,1 м – $m_{cp.} = 0,08$ м; в диапазоне 0,1–0,2 м – $m_{cp.} = 0,17$ м; в диапазоне 0,2–0,3 м – $m_{cp.} = 0,27$ м, а при мощностях более 0,3 м средняя мощность составляет 0,41 м.

Абсолютные значения глубины проникновения растворов в плохопроницаемые глинистые рудоносные породы (за счет их насыщения), в зависимости от времени контакта выщелачивающих растворов и K_{ϕ} с относительно хорошопроницаемыми породами (рис. 1), показывают, что за трехлетний период выщелачивания продуктивной толщи полностью насыщены раствором глинистые плохопроницаемые прослои с $K_{\phi} \geq 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Однако, степень извлечения урана из этих прослоев, согласно выполненным расчетам, будет различной (рис. 2).

Из полученных зависимостей (рис. 1, 2) следует, что за три года эксплуатации блоков ПВ по фильтрационной схеме планируемая степень извлечения может быть достигнута при содержании урана в плохопроницаемых глинистых прослоях на уровне $\sim 1,0С$. За период выщелачивания продолжительностью 900, 700, 550, 360

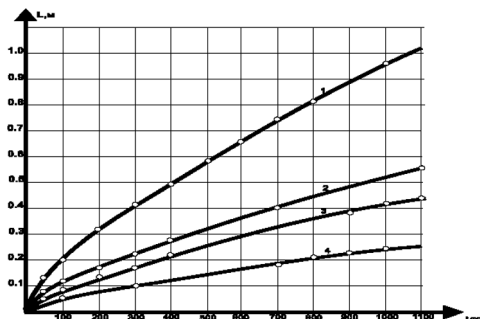


Рис. 1. Зависимость глубины насыщения (L) плохопроницаемых рудоносных пород от времени контакта (t) с хорошопроницаемыми породами:

1 - $K_f^H = 5 \cdot 10^{-3}$ м/сут; 2 - $K_f^H = 10^{-3}$ м/сут;
3 - $K_f^H = 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут; 4 - $K_f^H = 10^{-4}$ м/сут

и 200 суток плановая степень извлечения урана из блоков ПВ будет достигнута при содержании его в плохопроницаемых глинистых прослоях соответственно 0,91С; 0,85С; 0,78С; 0,64С и 0,53С.

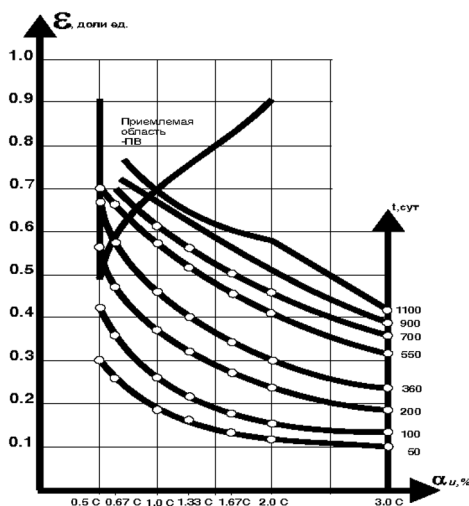


Рис. 2. Изменение степени извлечения урана (ε) из плохопроницаемых прослоев ($K_f = 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут) от исходного его содержания в зависимости от продолжительности выщелачивания

С наибольшей интенсивностью выщелачиваются рудоносные породы с забалансовым содержанием урана ($\alpha_u = 0,5 \div 0,6С$), для которых зависимость $\varepsilon = f(t)$ можно представить в виде уравнений:

$$\varepsilon \approx (0,4 \div 0,3) \sqrt{t} \quad (3)$$

для значений $\varepsilon \leq 0,5 \div 0,6$. При более высоких значениях степени извлечения урана ($\varepsilon > 0,5 \div 0,6$) коэффициент пропорциональности существенно снижается по отношению к выше приведенному, так как на данной стадии наблюдается наибольшая неравномерность процесса выщелачивания урана из различных по мощности прослоев. Из маломощных прослоев ($m_{cp.} = 0,08$ м) уран практически извлечен (до 80–95 %), а из более мощных прослоев значения степени извлечения не превышают 20–25 %.

В свою очередь, при высоких содержаниях урана в плохопроницаемых глинистых прослоях ($\alpha_u = 2,0 \div 3,0С$) характер степени извлечения урана в пределах всего рассматриваемого промежутка времени характеризуется уравнениями, соответственно:

$$\varepsilon = 0,16 \sqrt{t} \quad (4)$$

$$\varepsilon = 0,11 \sqrt{t} \quad (5)$$

Это объясняется тем, что из более богатых рудоносных прослоев процесс выщелачивания урана протекает более равномерно, но менее интенсивно. Существующий на начало процесса максимальный химический градиент концентраций между минеральной фазой и ГПСМ обеспечивает быстрое насыщение последнего ионами уранила. В дальнейшем процесс выщелачивания контролируется изменением химического равновесия меж-

ду этими фазами, протекающим, как правило, равномерно.

Из изложенного следует, что степень выщелачивания урана из блоков ПВ во времени определяется в итоге соотношением количества плохопроницаемых прослоев различной мощности и содержанием в них урана. Так, например, при отсутствии в блоках ПВ плохопроницаемых прослоев средней мощностью более 0,17 м позволило отработать такие блоки за один год. Однако, наличие в разрезе продуктивной толщи более мощных прослоев средней мощностью 0,27 м (5,5 %) и 0,41 м (8 %) привело к ухудшению показателей выщелачивания урана из рудоносной толщи пород за счет необходимости увеличения продолжительности их выщелачивания до трех и более лет.

В связи с этим проведен расчет изменения степени извлечения урана (ϵ) из плохопроницаемых глинистых прослоев континентальных и морских фаций ($K_{\phi} \sim 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут) от исходного его содержания при различной продолжительности отработки продуктивной толщи фильтрационным потоком реагента. Расчеты по выщелачиванию урана проведены с учетом выявленных средних мощностей всех плохопроницаемых глинистых прослоев в разрезе продуктивной толщи, а также с учетом их фильтрационных свойств. Такой методический подход позволяет выделить приемлемую область ПВ урана из плохопроницаемых глинистых прослоев фильтрационным потоком реагента применительно к условиям конкретного месторождения. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Малухин Николай Григорьевич – доктор технических наук, профессор,
Маркелов Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор,
Аликулов Шухрат Шарофович – аспирант,
Казаков Тимофей Александрович – аспирант,
Нарзиев Аскар Сатторович – аспирант,
 Российский государственный геологоразведочный университет, office@msgpa.edu.ru



ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. К.И. САТПАЕВА			
КОЖАНТОВ Арыстан Узакбаевич	Создание методологии рационального развития горных работ при открытой разработке комплексных месторождений	25.00.21	к.т.н.