

УДК 622.349.5(470)

ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ГЛУБИННОГО ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОБРОВОЛЬНОГО СЕРНОКИСЛОТНЫМ СКВАЖИНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ (КУРГАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. Н. Солодов

Акционерное общество «Атомредметзолото», г. Москва, Россия

Приведены доказательства геофильтрационной и геохимической природной защищенности подземных вод от глубинного (550–600 м) источника загрязнения, формирующегося в процессе отработки рудных залежей гидрогенного уранового месторождения Добровольного сернокислотным скважинным подземным выщелачиванием. Также описаны способы защиты подземных вод применением надежной конструкции технологических скважин.

Ключевые слова: урановое месторождение, геоэкология, защитные геофильтрационные свойства, защитные геохимические свойства, техногенная защищенность, скважинное подземное выщелачивание, уранодобывающее предприятие.

1. Введение

АО «Далур» ведет освоение идентичных по геологическому строению и гидрогеологическим условиям гидрогенных месторождений урана: Далматовское (Далматовский р-он), Хохловское (Шумихинский р-он) и Добровольное (Звериноголовский р-он) в Курганской области (рис.1) [1]. Месторождение Далматовское находится на завершающей стадии отработки скважинным подземным выщелачиванием (СПВ). Хохловское месторождение обрабатывается СПВ на активной стадии процесса. На месторождении Добровольном в 2020 г. завершены геологоразведочные работы по переводу ресурсов и запасов в промышленные категории С1 и С2. Выполняются работы по обустройству полигона СПВ для опытно-промышленных геотехнологических испытаний и строительству локальной установки переработки продуктивных растворов.

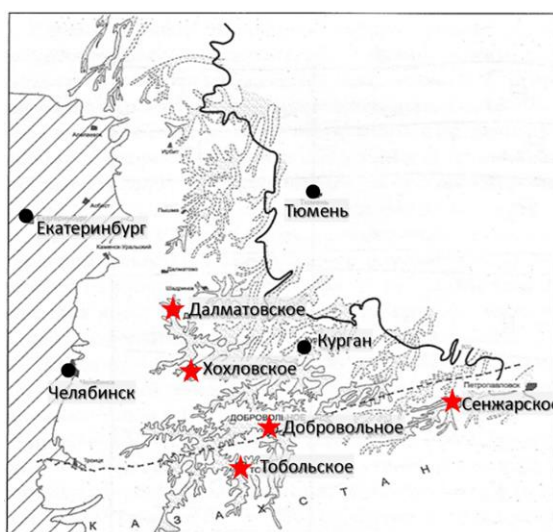


Рисунок 1. Гидрогенные месторождения урана палеодолинного типа в Зауральском ураново-рудном районе [2]

Освоение месторождения Добровольного СПВ вызвало пристальный интерес населения Звериноголовского района Курганской области. Появилось множество антинаучных версий масштабного загрязнения водоносных горизонтов, смежных с рудоносным водоносным горизонтом, вплоть до загрязнения подземных вод в подрусловых отложениях реки Тобол. В связи с этим доказательство экологической безопасности отработки этого месторождения методом СПВ – весьма актуальная проблема.

Защищенность подземных вод обеспечивается двумя группами факторов – природными и техногенными [2]. Среди природных факторов главными являются геофильтрационные (интенсивность водообмена в эксплуатируемом водоносном горизонте, водоупорность пород, отделяющих этот горизонт от смежных с ним в разрезе водоносных горизонтов) и геохимические (нейтрализационная, восстановительная и сорбционная емкости пород, естественная подземная микрофлора) защитные свойства геологической среды. К техногенным факторам относится надежность конструкции технологических скважин и наземной трубопроводной системы, обеспечивающая сохранение основной радиоактивности в недрах и исключая утечки технологических растворов в недрах и на поверхности земли. Ниже приводятся количественные оценки перечисленных факторов.

Геоэкологические исследования на урановых месторождениях Зауральского рудного района проводятся на всех стадиях освоения: в период геологоразведочных работ, во время отработки и завершения эксплуатации месторождений урана методом СПВ. Их цель – обосновать экологическую безопасность и предотвратить опасные экологические последствия при применении данной технологии отработки месторождений. В этих работах в разное время принимали участие специалисты ИГЕМ РАН, ВСЕГИНГЕО, ВИМС и ФГБУ «Гидроспецгеология».

Обоснованию защищенности геологической среды от подземного источника загрязнения, формирующегося в ходе извлечения урана из руд на месте залегания в рудоносном водоносном горизонте, посвящена данная статья.

2. Урановое месторождение Добровольное – локальная геоэкологическая система

Высказывание в прессе типа: «Добыча урана спровоцирует гибель Тобольского артезианского бассейна» не соответствует 50-летнему опыту промышленного применения СПВ для добычи урана из руд гидрогенных месторождений в Украине, Узбекистане, Казахстане, России, США и Австралии [3–6].

Площадь месторождения Добровольного $32,1 \text{ км}^2$ (рис.2), расположенного в южной части Тобольского артезианского бассейна (370 тыс. км^2), занимает от его территории всего лишь $8,7 \cdot 10^{-5}$ часть. Многолетними наблюдениями в скважинах экологического мониторинга и применения метода бурения контрольных скважин с керном в процессе отработки урановых рудных залежей сернокислотным СПВ в Узбекистане и Казахстане [3, 7, 8], а также при отработке месторождений Далматовского [9] и Хохловского [10] доказано, что в процессе добычи урана растекание технологических растворов за контуры эксплуатируемых залежей не превышает 150 м. Растекание растворов в основном обусловлено нарушением баланса закачиваемых-откачиваемых растворов. Его трудно выявить редкой сетью наблюдательных скважин [11]. Поэтому на помощь экологам приходит компьютерное геоэкологическое моделирование [12, 13], с помощью которого

надежно выявляются и устраняются утечки растворов за контуры балансовых руд урановых залежей.

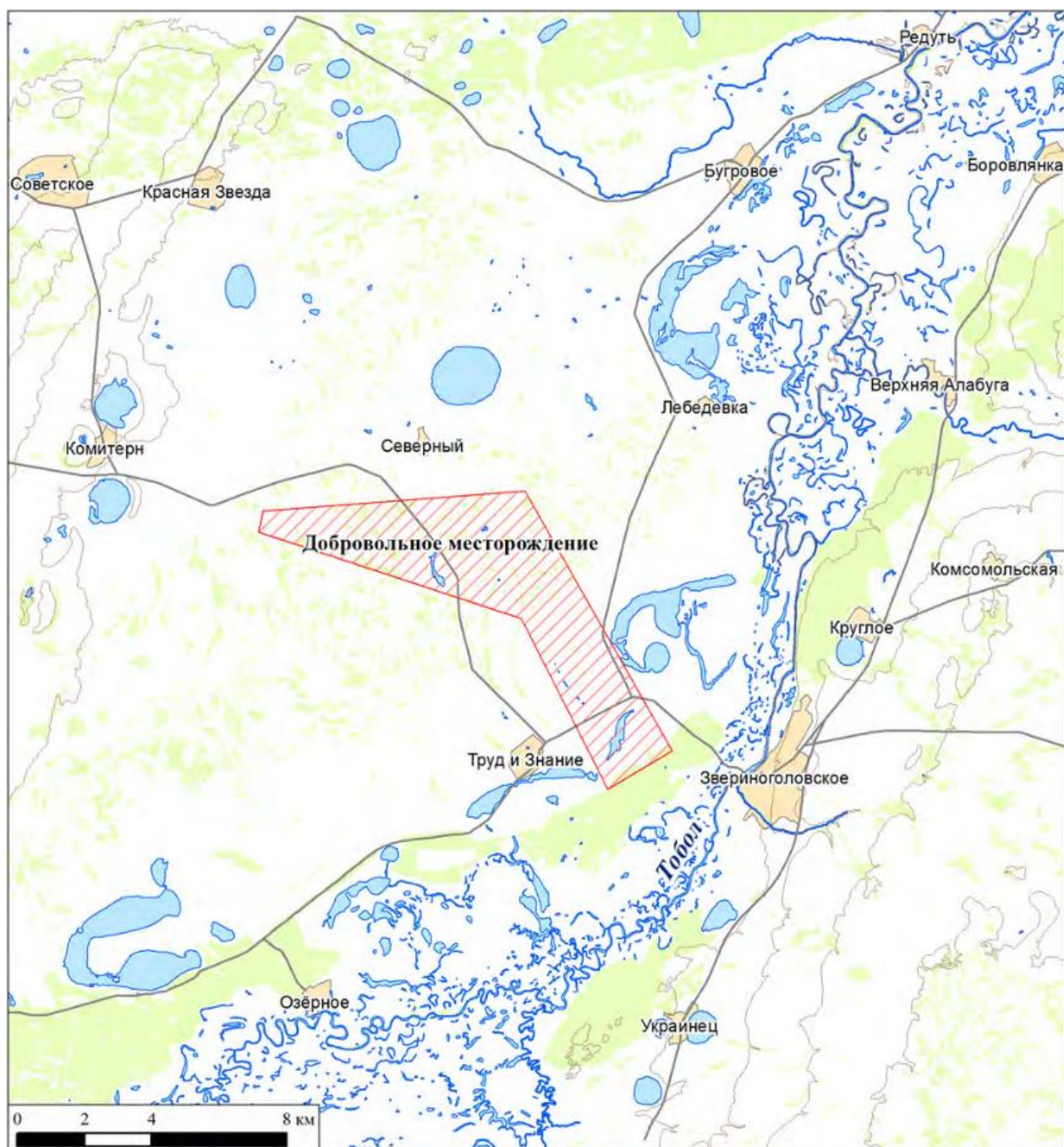


Рисунок 2. Обзорная карта расположения месторождения Добровольного на юго-западе Курганской области

3. Защитные геофильтрационные свойства геологической среды

В гидрогеологическом разрезе месторождения снизу вверх залегают шесть водоносных горизонтов (рис.3) [9, 14]: палеозойский в трещиноватых породах скального основания, рудоносный средневерхнеюрский, мысовский, камышловский, серовский и олигоцен-четвертичный.

Геофильтрационная защищенность от локального техногенного источника загрязнения по латерали эксплуатируемого средневерхнеюрского водоносного горизонта зависит от интенсивности водообмена, а защищенность четырех вышележащих водоносных горизонтов – от надежности разделяющих их водоупорных толщ, которая оценивается коэффициентом перетока подземных вод через водоупор (отношение коэффициента фильтрации водоупора к его мощности).

По интенсивности водообмена, которая оценена по величине уклона пьезометрической поверхности подземных вод, в рассматриваемой водонапорной системе выделены зоны: активного ($0,0n$; серовский и олигоцен-четвертичный горизонты), замедленного ($0,00n$; камышловский и мысовский горизонты) и весьма замедленного ($0,000n$; палеозойский и средневерхнеюрский горизонты) водообмена (табл. 1). По аналогии с месторождением Далматовским [9] действительная скорость фильтрации подземных вод в естественных условиях составляет первые сантиметры в год и не способствует миграции техногенных загрязнителей от локального источника загрязнения на значительное расстояние. При продолжительности отработки месторождения (25 лет) смещение техногенных сернокислых растворов естественным потоком подземных вод во время эксплуатации месторождения не превысит нескольких метров. После завершения процесса СПВ линза остаточных сернокислых растворов (будет обсуждено далее) подвергается автоочистке под действием защитных геохимических свойств, которая длится до 80 лет. И даже в этом случае перемещение этой линзы произойдет не более чем на десятки метров. Ни о каком масштабном загрязнении эксплуатируемого водоносного горизонта не может быть и речи.

Все водоносные горизонты изолированы водоупорными толщами (рис.3), основные характеристики которых приведены в табл. 1. Оценка коэффициента перетока, изменяющегося от 10^{-3} до 10^{-7} сут $^{-1}$, выполнена исходя из их фациально-литологических особенностей, а для водоупора перекрывающего рудоносный горизонт дополнительно рассчитана с использованием результатов опытно-фильтрационных работ [14].

О надежности изолирующих свойств водоупорных толщ также свидетельствует четко выраженная вертикальная гидрогеохимическая зональность (табл. 2), которая проявляется в возрастании с глубиной минерализации подземных вод от 1,1 г/л в олигоцен-четвертичном водоносном горизонте до 12,9 г/л в рудоносном средневерхнеюрском горизонте; в смене в этом направлении окислительной обстановки ($Eh +150$ мВ) – восстановительной ($Eh -240$ мВ); в изменении химического состава от гидрокарбонатно-кальциевого до хлоридно-натриевого.

Наличие вертикальной гидрогеохимической зональности доказывает отсутствие перетоков подземных вод через водоупорные толщи. Весьма замедленный водообмен в рудоносном средневерхнеюрском водоносном горизонте подтверждает присутствие слабозабавленных древних морских вод хлоридно-натриевого состава [15].

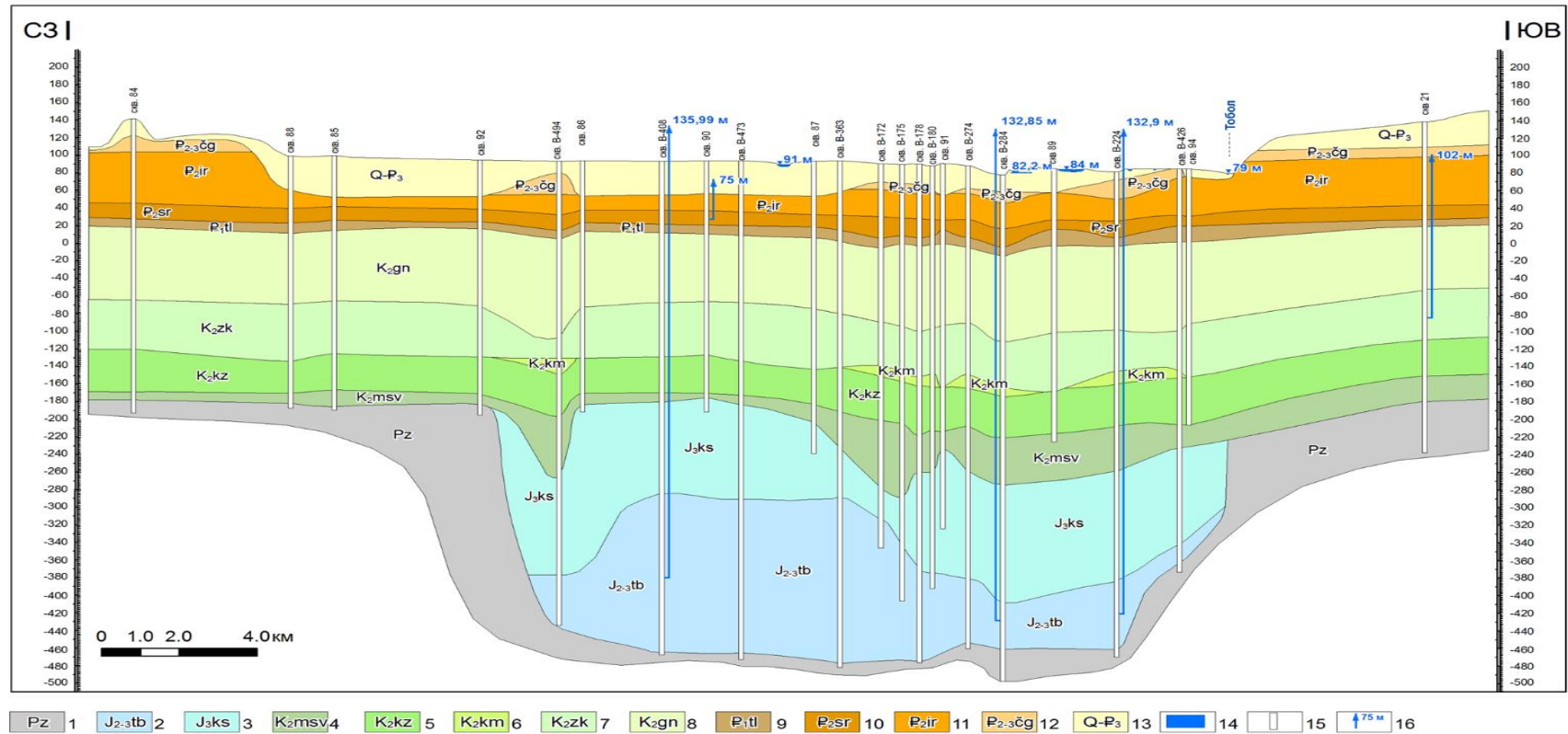


Рисунок 3. Геолого-гидрогеологический разрез через месторождение Добровольное [14]:

1 – палеозойский водоносный комплекс в трещиноватых известняках, песчаниках и гранитоидах, сверху перекрытых водоупорной тощей глинистой коры выветривани; 2 – ураноносный средневерхнеюрский водоносный горизонт (таборинская свита) - пески, гравийники, песчаники и глины с прослоями лигнита; 3 – водоупорная толща (коскольская свита) – глины и алевриты; 4 – мысовский водоносный горизонт (одноименная свита) – пески с прослоями песчаников и гравийно-песчаных отложений; 5 – водоупорная толща (кузнецовская свита) – глины; 6 и 7 – камышовский водоносный горизонт (камышловская и зайковская свиты) – трещиноватые песчаники, опоковидные глины, опоки; 8 – водоупорная толща (ганькинская свита) – мергели, мергелистые и известковистые глины, песчаники; 9 – водоупорная толща (талицкая свита) – глины с примесью гальки и гравия; 10 – серовский водоносный горизонт (одноименная свита) – трещиноватые опоки и песчаники с прослоями глин и алевролитов; 11 – водоупорная толща (ирбитская свита) – диатомиты и трепела с гнездами алеврита и песка; 12 – водоупорная толща (чеганская свита) – глины; 13 – олигоцен-четвертичный водоносный комплекс - пески, галечники, суглинки, глины; 14 – водоемы и водотоки; 15 – гидрогеологические скважины; 16 – уровень подземных вод (абсолютная отметка, м)

Таблица 1. Геофильтрационные свойства и параметры водоносных горизонтов и водоупорных толщ в районе месторождения Добровольного

Водообмен	Геологический индекс	Водоносный горизонт		Коэффициент фильтрации м/сут	Водоупорная толща		Коэффициент перетока, 1/сут	Литологический состав толщи	Мощность, м
Активный	Q	Аллювиальный четвертичный	6	0,1-20,0				Пески, галечники, суглинки, глины	5-50
	N ₂ -Q	Озёрно-аллювиальный плиоцен-четвертичный		0,01-1				Пески, глины, опоки, мергели	2-10
	P ₃ tgr	Олигоценовый		0,01-5				Пески, глины, реже алевролиты и галечники	2-20
	P ₂ zčg				Чеганская свита	V	$10^{-5}-10^{-7}$	Глины листовато-слоистые	10-25
	P ₂ ir				Ирбитская свита		$10^{-3}-10^{-6}$	Глины, опоквидные диатомиты	15-25
Активный	P ₂ sr	Серовский	5	0,1-5				Опоки, реже песчаники	15-25
	P ₂ tl				Талицкая свита	IV		Глины запесоченные	3-10
	K ₂ gn				Ганькинская свита			Мергели	40-60
Замедленный	K ₂ zk-km	Зайковский и Камышовский	4	0,2-0,7				Песчаники, реже пески, опоки	10-50
	K ₂ kz				Кузнецовская свита	III	$10^{-5}-10^{-7}$	Глины	15-50
Замедленный	K ₂ msv	Мысовский	3	0,5-10				Пески, гравелиты	15-60
	J ₃ ks				Коскольская свита	II	$10^{-5}-10^{-7}$	Глины, алевроиты, прослой песков	30-100
Весьма замедленный (застойный)	J₂3tb	Средне-верхнеюрский (рудноносный)	2	3,6-5,7				Песок, песчаники, галечники, прослой глин и алевролитов	30-100
	Pz	Глинистая кора выветривания скального основания			Глинистая кора выветривания скального основания	I	$10^{-3}-10^{-5}$	Глины, алевроиты	50
Весьма замедленный (застойный)	Pz	Палеозойский	1	0,3-1,8				Трещиноватые известняки, песчаники, туфопесчаники, гранитоиды	Вскрытая возможность 50-100

Таблица 2. Химический состав речных и подземных вод в районе месторождения Добровольное

Гидрогеологический этаж и интенсивность водообмена		Речные и подземные воды. Водоносные горизонты		Химический состав	СГ,	рН
					г/л	
Верхний	Зона активного водообмена	р. Тобол		$0,18 \frac{HCO_3 70 Cl 19 SO_4 11}{Ca 65 Mg 23 Na 12}$	0,017	
		Олигоцен-четвертичный водоносный горизонт		$1,1 \frac{Cl 57 HCO_3 36 SO_4 7}{Mg 57 Ca 32 Na 11}$	0,35	7,2
		Палеоцен-эоценовый водоносный горизонт		$1,5 \frac{Cl 64 SO_4 26 HCO_3 10}{Na 56 Mg 26 Ca 18}$	0,54	7
Нижний	Зона замедленного водообмена	Верхнемеловой водоносный комплекс	Водоносный горизонт зайковской и камышовской свит	$7,5 \frac{Cl 85 SO_4 11 HCO_3 4}{Na 60 Mg 22 Ca 18}$	3,5	7,5
			Мысовский водоносный горизонт			
	Зона весьма замедленного водообмена	Средне-верхнеюрский комплекс	Средне-верхнеюрский водоносный горизонт	$12,9 \frac{Cl 95 SO_4 4 HCO_3 1}{Na 85 Ca 8 Mg 7}$	7,4	7,5
			Палеозойский водоносный комплекс	$8,9 \frac{Cl 89 SO_4 9 HCO_3 2}{Na 68 Mg 19 Ca 9}$	4,8	7,5

4. Защитные геохимические свойства геологической среды

Руды месторождения по содержанию урана – бедные – 0,0п % и, соответственно, слаборадиоактивные – 2–5 Бк/г. Подземные воды рудоносного средневерхнеюрского водоносного горизонта непригодны для питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения из-за высокой минерализации и не используются для этих целей на всей территории Курганской области. Из 18 естественных радиоактивных изотопов, образующихся при распаде урана, наиболее опасными являются ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{227}Ac , ^{230}Th и ^{232}Th , поэтому даже пресные подземные воды в районе урановых рудных залежей непригодны для водопользования.

При использовании разбавленных растворов серной кислоты (5–25 г/л) при СПВ ее расход на растворение урана незначительный – доли процента, тогда как основная его доля приходится на вмещающие уран терригенные отложения (преимущественно пески). В результате из пород извлекается значительная масса петрогенных элементов, из которых выше ПДК питьевых вод в убывающем порядке по содержанию присутствуют: Al, Fe, Mg, Ca, Na, U, Si, Zn, P, K, Mn, Ti, Sr, Ce, Y, La, V, Li, Cr, Ni, Th, Be, Pb, Sn, Sb, Cd, Zr. Также в составе остаточных сернокислых растворов присутствуют в концентрациях выше ПДК техногенные компоненты – SO_4 , NO_3 и NH_4 .

Линзы остаточных сернокислых сульфатных железо-алюмо-магниевого растворов с большим количеством потенциальных загрязнителей, остающиеся после прекращения СПВ, по площади незначительно превышают размеры отработанных урановых залежей.

Однако их химический состав не остается неизменным на протяжении длительного времени. Происходит их автоочистка как внутри линз, так и при их смещении естественным потоком в область неизмененных техногенезом терригенных отложений под действием защитных геохимических свойств геологической среды. Эти

свойства включают наличие биоактивной естественной подземной микрофлоры, нейтрализационную, восстановительную и сорбционную емкости горных пород.

Многолетними натурными гидрогеохимическими наблюдениями после отработки СПВ рудных залежей месторождений: Далматовское [9], Южный и Северный Букинай [3], Бешкак [7], Канжуган [7] и Ирколь [8] установлено, что под действием нейтрализационной емкости алюмосиликатных и карбонатных минералов происходит нейтрализация серной кислоты от pH 1,5 до pH 6–7 и осаждение сульфата в составе гипса, барита, ярозита и алунита, а также при нейтрализации переходят в твердую фазу элементы гидролизаты – Al, Fe(III), Ti, Zn, Cr, Th, Be, Sn, Cd, Zr. Магний и фосфор осаждаются в составе ньюбериита и вивианита. При смещении линзы естественным потоком подземных вод в область техногенно неизмененных песчаных отложений, помимо формирования нейтрализационного геохимического барьера, формируется восстановительный геохимический барьер, в области которого происходит восстановительное осаждение F(II), Cu, Zn, Ga, As, Se, Cd, Sn, Sb, Te, Hg, Pb и Bi.

В автоочистке остаточных сернокислых растворов существенную роль играет естественная подземная микрофлора – денитрифицирующие и сульфатредуцирующие бактерии. Их высокая биохимическая активность в рудоносном средневерхнеюрском водоносном горизонте доказана микробиологическими исследованиями керна разведочных и контрольных скважин на Далматовском [9] и Хохловском [10] месторождениях. Есть все основания полагать, что они столь же активны на месторождении Добровольном. Денитрифицирующие бактерии полностью перерабатывают техногенный нитрат в газообразный азот, а сульфатредуцирующие превращают сульфат в сероводород, который связывается с Fe (II), Cu, Zn, Cd, Sn, Hg, Pb и осаждается в виде сульфидов.

5. Техногенная защищенность геологической среды

Еще один фактор, который исключает загрязнение технологических скважин и наземного оборудования радиоактивным ^{226}Ra , – сохранение основной радиоактивности на месте залегания выщелоченных урановых руд. Радий с сульфатом серной кислоты образует труднорастворимое соединение. Его сульфаты в виде собственных минералов не обнаружены, т. к. по массе его в подземных водах и в растворах выщелачивания крайне мало – до $40,4 \cdot 10^{-11}$ г/л [3]. Но он постоянно фиксируется в составе радиогипса и радиобарита.

Доказательством того, что основная радиоактивность при СПВ сохраняется в недрах, является сравнение прямого определения остаточного содержания урана в рудах методом каротажа нейтронов мгновенного деления (КНД) и рассчитанной фиктивной концентрации урана через коэффициент радиоактивного равновесия между ураном и радием ($K_{\text{рр}}=1$) традиционным методом гамма-каротажа (ГК) (рис. 4) [16]. В выщелоченных рудах в результате выноса урана и сохранения радия на месте залегания равновесие смещается в сторону Ra, и $K_{\text{рр}}$ может достигать 190 отн. ед. [16], что приводит к получению фиктивных содержаний урана в рудах при оценке по ГК. Гамма-аномалия по интенсивности не меняется до и после выщелачивания урана.

Защищенность подземных вод от глубинного источника загрязнения также зависит от надежной конструкции технологических закачных и откачных скважин. До недавнего времени в качестве материала обсадных труб в этих скважинах применялся полиэтилен низкого давления (ПНД). У этих труб масса недостатков: отсутствие адгезии с цементом, используемым для заколонной гидроизоляции скважин, отсутствие адгезии с клеями различных марок для обеспечения гидроизоляции резьбовых соединений, большой коэффициент линейного расширения, короткий срок старения и потеря прочности полиэтилена через 7 лет,

плотность ниже плотности воды. В связи с этим для сооружения гидрогеологических и технологических скважин выбрана надежная конструкция и новый материал обсадных труб – непластифицированный поливинилхлорид [17, 18]. Этот материал лишен недостатков, присущих ПНД.

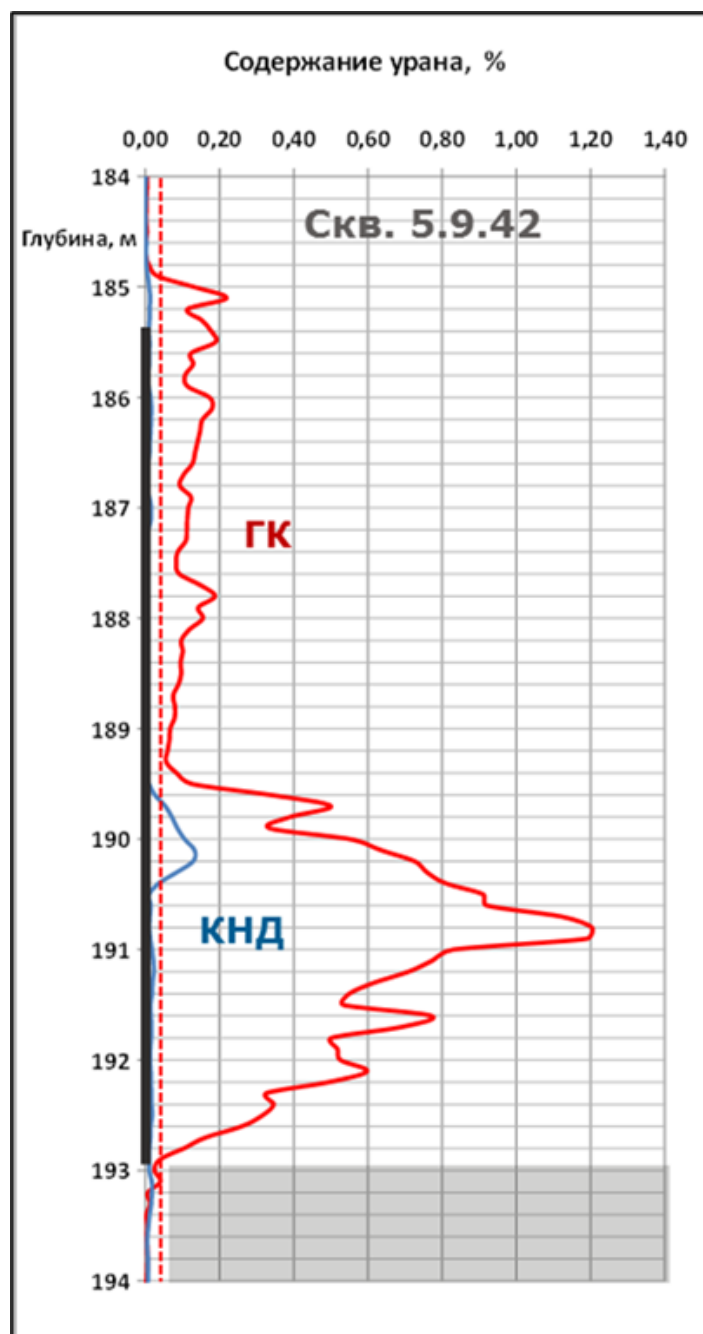


Рисунок 4. Сопоставление фактического содержания урана в рудах, определенного методом КНД, с фиктивным содержанием по ГК. Пунктиром показана граница балансовых урановых руд = 0,01 %

Техническое состояние технологических скважин регулярно проверяется скважинными геофизическими методами: расходометрией, токовым и индукционным каротажами.

6. Заключение

В заключение сформулируем основные принципы обращения с остаточными сернокислыми растворами СПВ и защищенности подземных вод:

1. Линзы остаточных сернокислых растворов, повторяющие контуры рудных залежей, относятся к маломасштабным (локальным) геоэкологическим системам.
2. Природные подземные воды на урановых гидрогенных месторождениях изначально загрязнены продуктами радиоактивного распада (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{227}Ac , ^{230}Th , ^{232}Th) и стабильными элементами – спутниками урана (сероводород, селен, мышьяк, молибден, ванадий, бром, фтор, железо, марганец и хром) и поэтому непригодны для питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения.
3. СПВ очищает недра от радиоактивности, так как удаляется длительно существующий источник радиоактивности – уран с периодом полураспада 4,6 млрд лет.
4. Низкая скорость движения подземных вод в рудоносном средневерхнеюрском водоносном горизонте не способствует масштабному загрязнению подземных вод (геофильтрационная защищенность).
5. Наличие верхнего водоупора с весьма низким коэффициентом перетока 10^{-5} – 10^{-7} сут $^{-1}$ препятствует перетеканию техногенных вод в вышележащие водоносные горизонты (геофильтрационная защищенность).
6. При СПВ в водоносные горизонты искусственно вносятся сульфат, нитрат и аммоний, все остальные компоненты являются петрогенными, извлеченными из горных пород, которые при автоочистке обратно возвращаются в горные породы.
7. Автоочистка линз остаточных растворов начинается с момента прекращения СПВ и протекает внутри линз и при их смещении естественным потоком подземных вод в область неизменных осадочных пород.
8. Миграции загрязнителей в составе остаточных растворов препятствует комплексный сорбционно-восстановительно-нейтрализационный геохимический барьер.
9. Глубина, масштабы и продолжительность автоочистки растворов оцениваются методом экологического мониторинга подземных вод в наблюдательных скважинах.
10. Очитка остаточных растворов от искусственных и петрогенных техногенных веществ на поверхности методами химических технологий приведет к масштабному загрязнению дневной поверхности.

7. Список литературы

1. Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К. и др. Уран российских недр. – М.: ВИМС. 2010. – 850 с.
2. Солодов И.Н. Геоэкология СПВ урана: природные и техногенные факторы экологической безопасности // Научно–практическая конференция «Решение экологических и технологических проблем горных производств на территории России, ближнего и дальнего зарубежья». – М.: ВНИПИПТ. 21–22 марта 2019. С. 41–51.
3. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Под ред. Н.П.Лаверова. – М.: Изд–во Академии горных наук. 1998. – 446 с.
4. Pool T.C., Beneš V., Jones B.L. et al. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations // IAEA Nuclear Energy Series. No. NF–T–1.4, Vienna, 2016 – 76 p.
5. Seredkin M., Solodov I. In–Situ Recovery (ISR) Symposium // 23rd Annual Conference Proceedings. Perth, Australia, ALTA – 2018. P. 5 – 12.
6. Hiam–Galves D., Gerber E., Pekrul J. et al. In–Situ Recovery (ISR) – The Permitting Challenge // 25rd Online Conference. Environmental. Perth, Australia, ALTA – 2020. P. 64 – 73.
7. Солодов И.Н., Величкин В.И., Рубцов М.Г. и др. Гидрогеохимический каротаж: теория и практика // М.: Едиториал УРСС, 2005. – 320 с.
8. Язиков В.Г., Забазнов В.Л. Вопросы геоэкологии при подземном скважинном выщелачивании урана // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). Москва. 2003. 237 с.
9. Солодов И.Н., Марков С.Н., Попонина Г.Ю. и др. Геоэкологический паспорт уранового месторождения Далматовское // Отчет НИОКР, с. Уксянкое Курганской обл., фонды АО «Далур». 1993. 106 с.
10. Величкин В.И., Солодов И.Н., Дойникова О.А. и др. Изучение геохимических и минералогических особенностей урановых руд месторождения Хохловское // Материалы по геологии месторождений урана. М.: ВИМС. Информационный сборник КНТС. 2009. Вып. 154. С. 69 – 93.
11. Caruso D., Vepsalainen M., McGregor K. et al. Trials at Depth with Vesitm – A New Ground Water Monitoring Technology for ISR Operations // 25rd Online Conference. Environmental. Perth, Australia, ALTA – 2020. P. 88 – 99.
12. Носков М.Д., Бабкин А.С., Кеслер А.Г. и др. Экологический мониторинг и прогнозирование состояния недр при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания // Сборник трудов VII Международной научно–практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» / Алматы. 2014. С. 355 – 361.
13. Noskov M., Solodov I., Kesler A., Terovskaya T. et al. Groundwater Contamination and Self–Purification at Uranium Pro–duction by the In Situ Leaching Process // International Symp. on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM–2018) // Vienna Austria. 25–29 June 2018. P. 307 – 310.
14. Глинский М.Л., Глаголев А.В. Геоэкологические исследования на Добровольном месторождении // Отчет НИР по договору № 099/3523–Д. Этап 3. 2018. – 83 с.
15. Ковальчук А.И. Особенности структурной гидрогеологии Тобольского артезианского бассейна // В кн.: "Химический состав и ресурсы подземных вод Предуралья и Зауралья". Изд–во АН СССР. Уральский научный центр. 1986. С. 79 – 88.
16. Миносьянц А.Р., Солодов И.Н., Гурулев Е.А. Применение каротажа мгновенных нейтронов на разных стадиях освоения урановых месторождений методом СПВ // Разведка и охрана недр. 2019. №7. С. 22 – 30.

17. Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Забайкин Ю.В. и др. О расчете эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемерзлых пород // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. Научное обозрение. Вып. №21 – М.: ООО ИПЦ «Маска», 2019. С. 27 – 31.
18. Иванов А.Г., Солодов И.Н. О выборе материала обсадных труб для оборудования эксплуатационных скважин подземного выщелачивания // Горный журнал. 2018. №8. С. 81 – 85.

Сведения об авторе:

Солодов Игорь Николаевич, АО «Атомредметзолото», доктор геолого-минералогических наук, директор программ инновационного и технологического развития, 109004, г. Москва, Б. Дровяной пер., д. 22, sin1950@gmail.com

PROTECTION OF GROUNDWATER FROM A DEEP SOURCE OF POLLUTION DURING THE DEVELOPMENT OF A URANIUM DEPOSIT DOBROVOLNY BY SULFURIC ACID IN-SITU LEACHING (KURGAN REGION)

I. N. Solodov

ARMZ Uranium Holding Co

Evidence is provided for the geofiltration and geochemical natural protection of groundwater from a deep (550–600 m) source of pollution, which is formed in the process of mining ore deposits of the hydrogenous uranium deposit Dobrovolny by sulfuric acid in-situ leaching. Methods for protecting groundwater using a reliable design of technological wells are also described.

Key words: uranium deposit, geoecology, protective geofiltration properties, protective geochemical properties, technological protection, in-situ leaching, uranium mining enterprise.

References

1. Mashkovtsev G.A., Konstantinov A.K., Miguta A.K. et al. Uran rossijskih nedr. – М.: VIMS. 2010. 850 p. (In Russian).
2. Solodov I.N. Geoekologiya SPV urana: prirodnye i tehnogennye factory ekologicheskoy bezopasnosti. Nauchno–prakticheskaya konferentsiya “Reshenie ekologicheskikh problem gornyh proizvodstv na territorii Rossii, blizhnego i dalnego zarubezhia”. – М.: VNIPIPT. March 21–22, 2019. P. 41–51. (In Russian).
3. Podzemnoye vyschelachivaniye polielementnyh rud. Pod red. N.P.Laverov – М.: Izdvo Akademii gornyh nauk. 1998. 446 p. (In Russian).
4. Pool T.C., Beneš V., Jones B.L. et al. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations. IAEA Nuclear Energy Series. No. NF–T–1.4, Vienna, 2016 – 76 p.

5. Seredkin M., Solodov I. In-Situ Recovery (ISR) Symposium. 23rd Annual Conference Proceedings. Perth, Australia, ALTA – 2018. 5 –12 p.
6. Hiam-Galves D., Gerber E., Pekrul J. et al. In-Situ Recovery (ISR) – The Permitting Challenge. 25rd Online Conference. Environmental. Perth, Australia, ALTA – 2020. P. 64 – 73.
7. Solodov I.N., Velichkin V.I., Rubtsov M.G. i dr. Hidrogeokhimicheskiy karotazh: teoriya i praktika. M.: Yeditorial URSS, 2005. 320 p. (In Russian).
8. Yazikov V.G., Zabaznov V.L. Voprosy geoekologii pri podzemnom skvazhinnom vyshchelachivaniy urana. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). Moskva. 2003. 237 p. (In Russian).
9. Solodov I.N., Markov S.N., Poponina G.YU. i dr. Geoekologicheskiy pasport uranovogo mestorozhdeniya Dalmatovskoye. Otchet NIOKR, s. Uksyankoye Kurganskoy obl., fondy AO «Dalur». 1993. 106 p. (In Russian).
10. Velichkin V.I., Solodov I.N., Doynikova O.A. i dr. Izucheniye geokhimicheskikh i mineralogicheskikh osobennostey uranovykh rud mestorozhdeniya Khokhlovskoye. Materialy po geologii mestorozhdeniy urana. M.: VIMS. Informatsionnyy sbornik KNTS. 2009. Vyp. 154. P. 69 – 93. (In Russian).
11. Caruso D., Vepsalainen M., McGregor K. et al. Trials at Depth with Vesitm – A New Ground Water Monitoring Technology for ISR Operations. 25rd Online Conference. Environmental. Perth, Australia. ALTA. 2020. P. 88 – 99.
12. Noskov M.D., Babkin A.S., Kesler A.G. i dr. Ekologicheskiy monitoring i prognozirovaniye sostoyaniya nedr pri dobyche urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniya. Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy uranovoy promyshlennosti». Almaty. 2014. P. 355 – 361. (In Russian).
13. Noskov M., Solodov I., Kesler A., Terovskaya T. et al. Groundwater Contamination and Self-Purification at Uranium Pro-duction by the In Situ Leaching Process. International Symp. on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2018). Vienna Austria. 25-29 June 2018. P. 307 – 310.
14. Glinskiy M.L., Glagolev A.V. Geoekologicheskiye issledovaniya na Dobrovol'nom mestorozhdenii. Otchet NIR po dogovoru № 099/3523-D. Etap 3. 2018. 83 p. (In Russian).
15. Koval'chuk A.I. Osobennosti strukturnoy gidrogeologii Tobol'skogo artezianskogo basseyna. V kn.: "Khimicheskiy sostav i resursy podzemnykh vod Predural'ya i Zaural'ya". Izd-vo AN SSSR. Ural'skiy nauchnyy tsentr. 1986. P. 79 – 88. (In Russian).
16. Minos'yants A.R., Solodov I.N., Gurulev Ye.A. Primeneniye karotazha mgnovenykh neytronov na raznykh stadiyakh osvoyeniya uranovykh mestorozhdeniy metodom SPV. Razvedka i okhrana nedr. 2019. №7. P. 22 – 30. (In Russian).
17. Arsent'yev YU.A., Nazarov A.P., Zabaykin YU.V. i dr. O raschete ekspluatatsionnykh kolonn iz polimernykh materialov dlya usloviy mnogoletnemerzlykh porod. Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossiyskiy i zarubezhnyy opyt. Nauchnoye obozreniye. Vyp. №21 – M.: OOO IPTS «Maska», 2019. P. 27 – 31. (In Russian).
18. Ivanov A.G., Solodov I.N. O vybore materiala obsadnykh trub dlya oborudovaniya ekspluatatsionnykh skvazhin podzemnogo vyshchelachivaniya. Gornyy zhurnal. 2018. №8. P. 81 – 85. (In Russian).