



DOI: 10.31643/2020/6445.12

УДК 622.349.5:621.039.007

МРНТИ 52.13

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Влияние технологии «насосных скважин» на дебит откачных скважин

Юсупов Х. А., Омарбеков Е. У.

Satbayev University, Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова, Алматы, Казахстан

Received: 26 March 2020 / Peer reviewed: 3 April 2020 / Accepted: 27 April 2020

Аннотация. В данной работе приведены результаты исследований применения «насосных скважин» при отработке месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) на руднике «Каратау» в условиях высоконапорного характера подземных вод. Действующий рудник «Каратау» находится на территории расположенного в пустынной, труднодоступной, малонаселенной местности в юго-западной части Шу-Сарысуйской впадины в Сузакском районе, Туркестанской области. Рудник «Каратау» отличается от других месторождений, тем, что на всех участках наблюдается самоизлив геотехнологических скважин, статистический уровень которых - +20 м. Применение традиционных технологий для такого месторождения приводит к излишним материальным и трудовым затратам. Поэтому предложена технология «насосных скважин». Показано, что применение технологии «насосных скважин» приводит к достижению равномерного дебита откачных скважин, снижению затрат на закупку кабельной продукции, на приобретение погружных насосов и на оголовники в скважинах.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание (ПСВ), «насосные скважины», откачные скважины, закачные скважины, статический уровень.

Информация об авторах:

Юсупов Халидилла Абеневич – доктор технических наук, профессор. Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: 0000-0002-7682-5207. E-mail: yusupov_kh@mail.ru

Омарбеков Ернур Уразгалиевич – докторант. Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: 0000-0003-1317-1303. E-mail: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

Введение

В недрах Казахстана сосредоточено около 25% мировых запасов урана, причем около 74% из них пригодны для добычи методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) [1]. Выполнение программы развития отрасли, разработанной правительством республики, позволило занять Казахстану первое место в мире по добыче урана. Такое достижение было бы невысказимо без совершенствования техники и технологии при ПСВ урана [2,3,4,5].

Самые большие запасы урановой руды сконцентрировались в Чу-Сарысуйской провинции. Чу-Сарысуйская провинция представляет собой артезианский бассейн, сформировавшийся в крупной депрессионной структуре платформенного типа. Месторождения локализуются в проницаемых

терригенных образованиях верхнего мела и палеогена, имеют полихронный неоген-четвертичный возраст оруденения и размещены на фронте региональных зон пластового окисления. Урановые залежи непрерывно прослежены вдоль этих фронтов на десятки километров, что обусловило крупные и уникальные масштабы месторождений (более 100 тыс. тонн урана). Анализ горно-геологический условий месторождения показывает, что на технологию добычу значительно влияет статический уровень подземных вод, которая способствует снижению затрат на откачку продуктивного раствора. Несмотря на это выщелачивание урана производится традиционным способом, что приводит к излишним материальным затратам.

Способ подземного выщелачивания, в настоящее время, является одним из наиболее

перспективных методов добычи урана, а также ряда других редких и цветных металлов. При разработке месторождений полезных ископаемых методом подземного выщелачивания происходит воздействие на залежь на месте её залегания с целью перевода полезных компонентов в раствор и последующее их извлечение, как правило, через скважины, буримые с поверхности до места расположения залежи. Подземное выщелачивание является более привлекательным и эффективным, по сравнению с традиционными способами добычи, при разработке бедных месторождений, а также глубокозалегающих месторождений, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горно-технологическими условиями. В настоящее время около четверти всего урана добывается методом подземного выщелачивания.

Главными факторами, при использовании метода ПСВ являются: проекция рудной залежи на дневную поверхность, что определяет места расположения скважин и инфраструктурных объектов; заданная производительность перерабатывающего комплекса - количество откачных и закачных скважин.

Уровень воды в скважине – это из главные ее параметров, который необходимо знать для определения дебита и при выборе насосного оборудования. Различают статический и динамический уровни. Статический уровень воды устанавливается в скважине после простоя без откачки в течении более одного часа [6]. Суть такого статичного положения скважины в том, что забойное давление, то есть давление водного столба внутри скважины, уравнивается пластовое давление, под которым находится вода в водоносном слое. Таким образом, возникает равновесие и уровень воды перестает подниматься.

На месторождении «Буденновское», в основу стратиграфического расчленения разреза положены принципы цикличности и ритмостратиграфии с использованием данных каротажей, а также палеонтологические определения возраста и анализы вещественного состава глин и песков. В районе месторождения выделяются три горизонта верхнего мела (снизу вверх): мынкудукский, инкудукский и жалпакский. Воды горизонта напорные. Пьезометрический уровень располагается от 30 м выше поверхности земли в северной части до неглубокого его залегания (до 23 м) в южной части [7, 8].

С учётом геолого-гидрогеологических условий рудовмещающего горизонта залежи №2 и фактической производительности откачных и

закачных скважин для действующих технологических блоков принят дебит откачных скважин порядка 10 м³/час, отсюда приёмистость закачных скважин – 3,8:4,3 м³/час. Практикуемая схема состоит от 5 до 15 откачных скважин и к каждому откачному скважину надо прокладывать кабель для питания погружных насосов. Обязки технологических блоков, в котором верхней части откачной скважины располагается погружной насос, что является причиной разбуривания части скважины большим диаметром, «обсаживать» трубами большего диаметра, оборудовать верхний торец скважины соответственно более дорогим оголовком. Кроме того, к месту расположения технологического узла и каждой скважины от трансформаторной подстанции (ТП) и от узлов распределения растворов прокладываются электрокабели. Все эти дополнительные затраты представляются неизбежными, так как места расположения откачных скважин определены морфологией рудного тела и необходимостью задавать растворам под землей вектор их движения с использованием погружного насоса.

Экспериментальная часть

Совершенствование схема обязки исследуемого блока, суть альтернативного предложения: 5 откачных скважины сооружаются в формате закачных; вблизи от трансформаторных подстанций глубиной 50 -100 метров сооружаются «насосные скважины», оборудованные глухой без фильтровой колонной, в них располагаются погружные насосы. Суммарная мощность 5 насосов равна - оптимальной при традиционной схеме обязки (показано на 3 рисунке).

Экспериментальный блок находился на участке №2 рудника «Каратау». Площадь блока 40500 квадратных метров, руда представлена твердыми породами, мощность водоносного горизонта 8-12 м, глубина залегания 650-710 м. Средняя глубина скважин: 690 метров, статический уровень подземных вод: от +20 метров и выше от поверхности земли, динамический уровень подземных вод: до -15 метров.

На экспериментальном блоке 30 закачных скважин, 14 откачных скважин, расстояние между закачной и откачной скважинами 30 метров. Принята рядная схема вскрытия. Бурение осуществляется буровым станком БПУ-1200М (передвижная буровая установка). Откачные скважины сооружаются в формате закачных (рисунок 1), обсаживается трубой ПВХ, диаметром 89 мм и фильтром – КДФ 118.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ				ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ														
Глубина, м.	Геологическая колонка	Краткая характеристика пород	Мощность, м.	Проектное размещение фильтров		Интервал гидродинамической обильности	Конструкция скважины	Компьютерное буровое сверло	Скорость вращения шпинделя, об/мин.	Осевое давление МПа	Вид нагнетания, промывочной жидкости, л/мин	Примечание						
				от	до													
50	Пески мелкозернистые карбонатизированные с прослоями карбонатизированных глин.		210			Труба 90x8,0	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30				Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	1. Отклонение скважины не больше 1 метра на 100 м.						
100													Возможен самозалив	Ø 215	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 215	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	2. Интервал установки фильтров задает геолога по данным бурения. Допустимое отклонение фактического интервала посадки фильтра 1 м.
150																		
200	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	4. После обсадки производится токовый вертляк на правильность установки фильтров и целостность колонны.												
250							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	5. Гидроизоляция затрубного пространства – голь-цементным раствором в интервале 50-540 м.						
300	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	6. Цементация в интервалах 0-50 и 540-580 м. Интервалы цементации могут варьироваться по усмотрению геолога.												
350							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200	7. При самозаливе применять уплотненный глинистый раствор 1,25-1,27г/см3.						
400	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
450							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
480	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
490							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
500	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
510							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
520	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
530							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
540	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
550							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
560	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
570							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
580	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
590							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
600	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
610							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
620	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
630							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
640	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
650							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
655	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													
660							Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200							
670	Возможен самозалив	Ø 163	При бурении литот-сважины 3-полостной литобур. Ø 132 мм., 16173) = 6-12 м. ССТМ-30	Ø 163	Песчаный раствор, промывочной жидкости, л/мин 100-200													

Рисунок 1 Геолого–технический наряд на сооружение закачной скважины

Обсуждение результатов

Насосные скважины с откачными соединены шлангами и представляют собой систему сообщающихся сосудов. Видимо, необходимым условием при этом должен быть - положительный напор подземных вод над дневной поверхностью и расположение насоса ниже динамического уровня. Минимальное число таких насосных скважин – одна на технологический блок. Производительность по потоку в откачных скважинах при этом регулируется с помощью запорной аппаратуры. Применение насосных скважин наряду с прямым

экономическим эффектом позволяет в функциях откачных скважин использовать на разных стадиях отработки блока любые комбинации закачных скважин. Для получения зависимости дебита откачных скважин от применения «насосных скважин» были собраны статистические данные при отключенных насосных скважинах и работающих насосных скважинах. Производительность откачных скважин экспериментального блока при отключенных насосных скважинах и работающих насосных скважинах показаны рисунках 2,3.

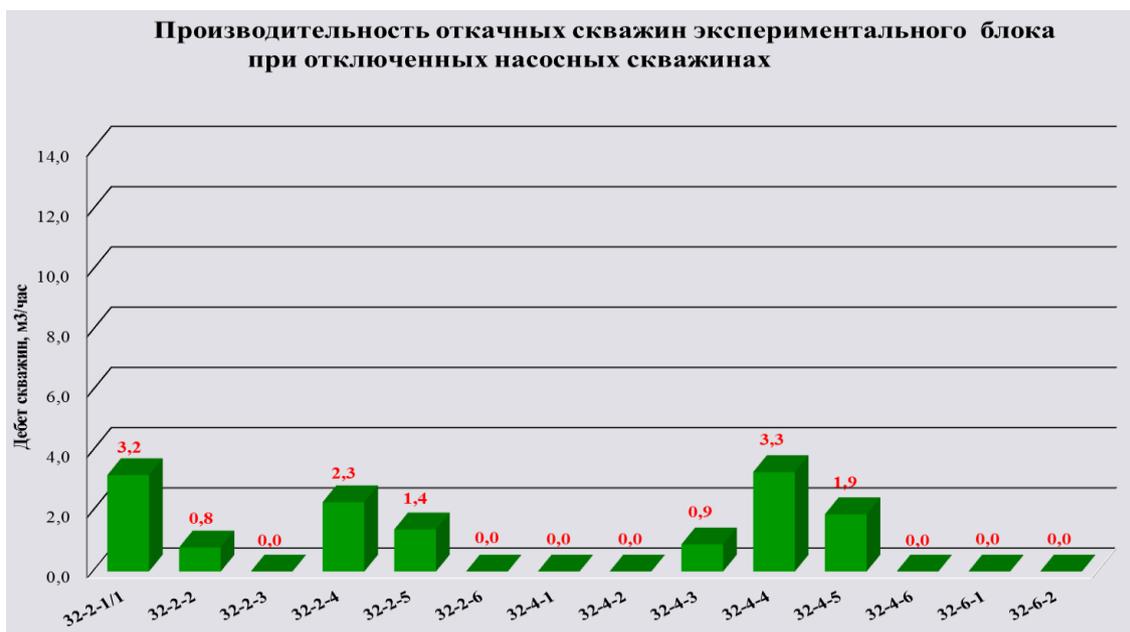


Рисунок 2 Производительность откачных скважин экспериментального блока при отключенных насосных скважинах



Рисунок 3 Производительность откачных скважин экспериментального блока при работающих насосных скважинах

Как видно из графиков, при отключенных насосных скважинах из 14 откачных скважин дебит равен нулю, а в остальных скважинах дебит изменяется от 0,8 м³ /час до 3,3 м³ /час. При работающих «насосных скважинах» наблюдается равномерный дебит всех скважин, дебит изменяется от 6,0 м³ /час до 13,1 м³ /час.

Выводы

В условиях высоконапорного характера подземных вод применение технологии «насосных скважин» приводит к достижению равномерного

дебита откачных скважин, уменьшаются затраты на закупку кабельной продукции, на приобретение погружных насосов (на одном блоке бывает от 8 до 15 откачных скважин, а в «насосных скважинах» всего 5), экономятся средства на оголовниках в скважинах.

Благодарность

Авторы статьи выражают огромную благодарность Алексею Ивановичу Матунову за помощь в сборе материалов.

Ссылка на данную статью: Юсупов Х. А., Омарбеков Е. У. Влияние технологии «насосных скважин» на дебит откачных скважин// Комплексное использование минерального сырья (Complex Use of Mineral Resources). – 2020. – №2 (313). – С. 14-18. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.12>

Сорғы ұңғымаларының шығымына «сорғыш ұңғымалар» технологиясының әсері

Юсупов Х. А., Омарбеков Е. У.

Түйіндеме. Бұл жұмыста "Қаратау" кенішіндегі жоғары қысымды жерасты суларының жағдайында жерасты ұңғылап шаймалау (ЖҰШ) әдісімен уран кен орындарын өндегенде "сорғы ұңғымаларын" қолданудың зерттеу нәтижелері келтірілген. Жұмыс істеп тұрған "Қаратау" кеніші Түркістан облысы, Созақ ауданындағы Шу-Сарысу ойпатының оңтүстік-батыс бөлігінде шөл, қатынасу қиын, адамдар аз қоныстанған аумақта орналасқан. "Қаратау" кенішінің басқа кен орындарынан ерекшелігі, оның барлық учаскелерінде геотехнологиялық ұңғымалар өздігінен төгіліп тұрады, статистикалық деңгейі +20 м. Мұндай кен орны үшін дәстүрлі технологияларды қолдану артық материалдық және еңбек шығындарына алып келеді. Сондықтан "сорғы ұңғымаларының" технологиясы ұсынылды. "Сорғы ұңғымаларының" технологиясын қолдану арқылы, сору ұңғымаларының біркелкі шығымына (дебитіне) қол жеткізіледі, кабель өнімдерін, батырмалы сорғыларды сатып алуға және ұңғымалардағы бастырғыштарға шығындарды азайтуға мүмкіндік туады.

Тірек сөздер: жерасты ұңғылап шаймалау (ЖҰШ), "сорғы ұңғымалары", сору ұңғымалары, айдау ұңғымалары, статистикалық деңгей.

The effect of «pumping wells» procedure on the flow rate of extraction wells

Yusupov Kh. A., Omarbekov E.U.

Abstract. Study of application of «pumping wells» when mining of uranium deposits by in-situ leaching (ISL) to the mine "Karatau" under conditions of high pressure of groundwater character was performed. The operating «Karatau» mine is located in a deserted, inaccessible, sparsely populated area in the southwestern part of the Shu-Sarysuy

depression in the territory of the Suzaksky district, Turkestan oblast. The «Karatau» deposit differs from other deposits in that self-pouring of geotechnological wells with a statistical level of +20 m is observed at all sites. The use of traditional technology for such deposit leads to excessive material and labor costs. Therefore, the technology of "pumping wells" is proposed. It is shown that the use of "pumping wells" procedure leads to achieving a uniform flow rate of extraction wells, reduction in the purchase of the cable production costs for the purchase of submersible pumps and wells in the end cap.

Key words: in-situ leaching (ISL), «pumping wells», extraction wells, injection well, static level.

Литература

- [1] Суходолов А.П. Мировые запасы урана: Перспективы сырьевого обеспечения атомной энергетики – М.: Известия ИГЭА, №4(72), 2010. – С.166-169.
- [2] Н.А.Принзин, М.Ж.Садыков, Ж.А.Алыбаев, Б.О.Дуйсебаев. Применение термогидролиза для разделения урана и алюминия. Комплексное использование минерального сырья. №5 (2010).
- [3] Volodin V. N., Tuleushev Y. Zh., Kenzhaliyev B. K., Trebukhov S. A. (2020). Thermal degradation of hard alloys of the niobiumcadmium system at low pressure. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 1(312), 41–47. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.05>
- [4] Абулкасимов А.Б., Близнюк В.И., Изатов А.Т., Карманов Е.М., Фоменко А.С. Извлечение урана из органических отходов аффинажного производства ТОО «Таукентское горно-химическое предприятие». Комплексное использование минерального сырья. №4 (2013).
- [5] Aben E., Markenbayev Zh., Khairullaev N., Myrzakhmetov S., Aben Kh.. Study of change in the leaching solution activity after treatment with a cavitator. *Min. miner. depos.* 2019. 13(4), 114-120
- [6] Khawassek Y.M., Taha M.H., Eliwa A.A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert, Egypt *International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*, V 6, 2016.
- [7] Поезжаев И. П., Абдульманова Д. М., «Исследования гидродинамики процесса выщелачивания на некоторых объектах ПСВ» // Сборник докладов III Международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, Казахстан, 6 – 9 июля 2004.
- [8] Kenzhaliyev, B. K., Surkova, T. Y., & Yessimova, D. M. (2019). Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 5–9. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>

References

- [1] Sukhodolov A.P. Mirovyeye zapasy urana: Perspektivy syryevogo obespecheniya atomnoy energetiki (World Uranium Reserves: Prospects for nuclear power raw materials). *Izvestiya IGEA = Proceedings of the ISEA*. 2010. 4(72), 166-169 (in Russ.).
- [2] N.A.Prinzin. M.Zh.Sadykov. Zh.A.Alybayev. B.O.Duyseybayev Primneniye termogidroliza dlya razdeleniya urana i alyuminiya (Thermohydrolysis application for the separation of uranium and aluminum). *Kompleksnoye ispolzovaniye mineralnogo syr'â = Complex Use of Mineral Resources*. 2010. №5 (in Russ.).
- [3] Volodin V. N., Tuleushev Y. Zh., Kenzhaliyev B. K., Trebukhov S. A. (2020). Thermal degradation of hard alloys of the niobiumcadmium system at low pressure. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 1(312), 41–47. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.05>
- [4] Abulkasimov A.B. Bliznyuk V.I. Izatov A.T. Karmanov E.M. Fomenko A.S. Izvlecheniye urana iz organicheskikh otkhodov affinazhnogo proizvodstva TOO «Taukentskoye gorno-khimicheskoye predpriyatiye» (The extraction of uranium from organic waste refining production LLP "Taukentskoe Mining and Chemical Enterprise"). *Kompleksnoye ispolzovaniye mineralnogo syr'â = Complex Use of Mineral Resources*. 2013. №4 (in Russ.).
- [5] Aben E., Markenbayev Zh., Khairullaev N., Myrzakhmetov S., Aben Kh.. Study of change in the leaching solution activity after treatment with a cavitator. *Min. miner. depos.* 2019. 13(4), 114-120 (in Eng.).
- [6] Khawassek Y.M., Taha M.H., Eliwa A.A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert, Egypt *International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016. 6 (in Eng.).
- [7] Poyezzhayev I. P., Abdulmanova D. M., «Issledovaniya gidrodinamiki protsessa vyshchelachivaniya na nekotorykh obyektakh PSV» (*Research of hydrodynamics of the leaching process at some sites ISL*). *Sbornik dokladov III Mezhdunarodnoy nauchno – prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye problemy uranovoy promyshlennosti» (III International scientific - practical conference «Actual problems of uranium industry»)*. Almaty, Kazakhstan, 2004. (in Russ.).
- [8] Kenzhaliyev, B. K., Surkova, T. Y., & Yessimova, D. M. (2019). Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 5–9. (In Eng.) <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>