

Комбинированный метод интенсификации скважинной добычи урана в рудах с низкими фильтрационными характеристиками

¹КЕНЖЕТАЕВ Жигер Смадиевич, PhD, главный научный сотрудник, kzhiger@yahoo.com,

^{1*}ТОГИЗОВ Куаныш Серикханович, PhD, профессор, k.togizov@satbayev.university,

¹ЖАПАБАЕВ Кудайберген Аллабергенулы, старший научный сотрудник, zharabaev.kudaibergen@mail.ru,

¹ИСАЕВА Людмила Джандуйсеновна, д.г.-м.н., ассоциированный профессор, l.issayeva@satbayev.university,

¹КИСЕЕВА Шырын Оркеновна, преподаватель, s.kisseyeva@satbayev.university,

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью данного исследования является разработка эффективного метода повышения фильтрационных характеристик руд при скважинной добыче урана в зависимости от геологических характеристик руд и вмещающих пород. При этом предусматриваются повышение производительности добычных и приемистость нагнетательных скважин, увеличение периода бесперебойной работы оборудования и снижение эксплуатационных расходов на добычу. В работе исследованы и оценены геотехнологические параметры скважинной добычи урана на технологических блоках в различных горно-геологических условиях. Отобраны пробы kernового материала и микроскопическим методом определены структуры и составы вмещающих пород Сантонского, Маастрихтского и Кампанского рудных интервалов. На основе сравнительного анализа применяемых методов интенсификации скважинной добычи был разработан комбинированный метод восстановления проницаемости продуктивного горизонта. Рассчитаны и обоснованы эффективные параметры комбинированного метода регенерации скважин, сочетающие колебания импульсов сжатого воздуха с химическими реагентами – растворителями. Обсуждена возможность сокращения времени обработки скважин новым методом и увеличения производительности скважин. Разработана методика расчета и применения комбинированного метода интенсификации скважинной добычи урана в рудах с низкими фильтрационными характеристиками.

Ключевые слова: уран, скважинная добыча, осадкообразование, микроскопические исследования, комбинирование.

Введение. Последствия изменения климата и увеличения спроса электроэнергии преимущественно в развивающихся странах вызывает всеобщий интерес к ядерной энергетике. Ядерная энергия имеет низкий углеродный след, а атомные электростанции на протяжении всего своего жизненного цикла выделяют очень мало парниковых газов. Поскольку в ближайшие десятилетия ожидается рост потребления энергии, ядерная энергетика может оказать значительное влияние на сокращение выбросов CO₂ во всем мире (IAEA 2018; IPCC 2018). Уран является основным ресурсом, от которого зависит атомная промышленность, и важным краеугольным камнем устойчивого развития ядерной энергетике [1, 2]. В связи со стремительным развитием мировой ядерной энергетике и увеличением спроса на урановые ресурсы, достойный вклад может внести уранодобывающая отрасль Казахстана, основанная на вы-

сокоэффективной технологии скважиной добычи урановых руд.

Скважинный способ добычи урана [3, 4] является наиболее экономически рентабельным, экологически безопасным в условиях глубокого залегания ниже 300 м, при низком содержании полезного компонента в руде ниже 0,1-0,2%. Данная технология является наиболее эффективной и не несет высоких капитальных и эксплуатационных затрат при разработке месторождения. Технология скважинной добычи урана предусматривает подачу выщелачивающего раствора (ВР), содержащего серную кислоту, в рудное тело через нагнетательные скважины. Насыщенные ураном продуктивные растворы (ПР) откачиваются с использованием погружных электронасосов из добычных скважин и направляются на переработку в сорбционные колонны по трубопроводам.

Месторождения урана Сырдарьинской де-

прессии предусматривают целесообразную разработку основных продуктивных залежей Сантонского, Маастрихтского и Кампанского ярусов. В процессе отработки пропускная способность скважин снижается в связи с изменением скорости фильтрации руд продуктивного горизонта. Снижение фильтрационных характеристик руд вызвано воздействием технологических растворов на структуру вмещающих пород продуктивного горизонта, изменением рН среды [5, 6], а также выпадением в осадок различных минералов. Анализ данных дебита скважин по продуктивному раствору (ПР), коэффициенту фильтрации (Кф) руд продуктивного горизонта и межремонтный цикл (МРЦ) скважин на различных горизонтах приведен на рисунке 1.

Проектные значения производительности добычных скважин составляют $6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, анализ показал, что усредненные геотехнологические параметры Сантонского яруса превышают проектные значения дебита добычных скважин в среднем на $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Данные скважин Маастрихтского яруса соответствуют проектным значениям отработки, за исключением случаев нарушения технологического режима. Однако средние значения Кампанского яруса не достигают проектных данных отработки в связи с низкой скоростью фильтрации руд продуктивного горизонта и интенсивным снижением дебита скважин. Интенсивность отработки на различных горизонтах происходит с разной скоростью, по причине различия геологических характеристик вмещающих пород. Разработка оптимальных параметров интенсификации скважинной добычи урана позволит повысить эффективность подземного выщелачивания, управлять геотехнологическими параметрами скважин и снизить эксплуатационные расходы на добычу. Этим обусловлена экономическая и технологическая востребованность разработки комбинированных методов повышения фильтрационных

характеристик разнообразных руд [7, 8].

Методы исследования. Эффективность технологии скважинной добычи урана зависит от неоднородности и структуры руд продуктивного горизонта и применяемых методов интенсификации процессов добычи. Микроскопические исследования керновых проб продуктивных пластов позволят решить вопросы с фильтрационными характеристиками и разработать эффективные комбинированные параметры регенерации скважин. Для определения структуры и состава рудовмещающих пород были отобраны пробы кернового материала с Сантонского, Кампанского и Маастрихтского рудных интервалов из месторождения урана Сырдарьинской депрессии. Полученные данные позволят определить причины осадкообразования и снижения фильтрационных характеристик руд и вмещающих пород продуктивного горизонта [9, 10].

Целью микроскопических исследований являются исследования минералогического состава керновых проб и определения пространственного наполнения керновых проб с продуктивных горизонтов Сантонского, Маастрихтского и Кампанского ярусов. Анализ полученных данных позволит определить зависимости снижения фильтрационных характеристик и осадкообразования от состава и размера кристаллов руд вмещающих пород продуктивного горизонта. Сыпучий материал проб изучался в иммерсионных жидкостях и изготовленных из него прозрачных шлифах под микроскопом марки LEICA DM 2500 P. На рисунке 2 изображены поверхности обработанных керновых проб (а) Сантонского, (б) Маастрихтского, (с) Кампанского ярусов.

Материал пробы (а) Сантонского яруса, внешне светлый со слабым сероватым оттенком. В плоскости прозрачного шлифа в составе пробы диагностированы следующие минералы: кварц, калиевые полевые шпаты и криптокристалли-

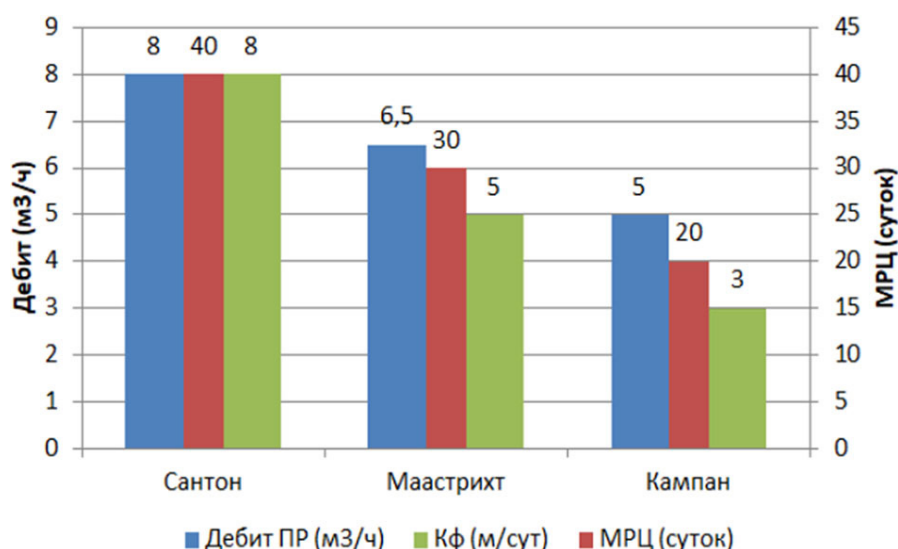


Рисунок 1 – Усредненные данные геотехнологических параметров скважин



Рисунок 2 – Изображения поверхности пробы ядерного материала при увеличении 100, ник+ (а) – Сантонского, (b) – Маастрихтского, (с) – Кампанского яруса

ческие породы. Кварц представлен обломками зерен неправильной формы, остроугольными, округлыми, размером до 0,2-0,3 мм. Микроклин прозрачный с характерной микроклиновой решеткой. Ортоклаз сильно пелитизирован, непрозрачный, бурый, что отчетливо видно и в шлифе, и в иммерсионном препарате. Показатели преломления проверены в иммерсионной жидкости с показателем преломления 1,525, что соответствует таковому стандартных калиевых полевых шпатов. Обломки пород тонкозернистые, крипнокристаллические, прозрачные или полупрозрачные, замутненные, пелитизированные, по составу – кварцевые и полевошпатовые.

Образец пробы (b) Маастрихтского яруса внешне аналогичен пробе (a). В плоскости прозрачного шлифа в составе пробы определены следующие минералы: кварц, калиевые полевые шпаты, крипнокристаллические кремнистые, глинисто-сланцевые и калишпатовые породы. Кварц представлен обломками зерен неправильной формы, остроугольными, округлыми, размером до 0,2-0,4 мм. Микроклин прозрачный с характерной микроклиновой решеткой. Ортоклаз сильно пелитизирован, полупрозрачный, часто непрозрачный, бурый. Показатели преломления в иммерсионной жидкости около 1,525 и ниже. Обломки пород тонкозернистые, крипнокристаллические, прозрачные или замутненные, пелитизированные, по составу – кварцевые, полевошпатовые и глинистые.

Материал пробы (с) Кампанского яруса внешне аналогичен пробам (a) и (b). Под микроскопом в прозрачном шлифе присутствуют кварц, калиевые полевые шпаты – микроклин и ортоклаз, каолинит, тонкозернистые агрегаты каолинита с гипсом. В иммерсионных препаратах состав подтвержден. Кварц представлен обломками зерен неправильной формы, остроугольными, округлыми, размером до 0,2-0,3 мм. Микроклин прозрачный с характерной микроклиновой решеткой. Ортоклаз сильно пелитизирован, полупрозрачный и непрозрачный, бурый. По показателям преломления, определенным в иммерсионных жидкостях, они соответствуют стандартным ми-

нералам. Агрегаты каолинита и гипса тонкозернистые, крипнокристаллические, трудно диагностируемые, мутные, пелитизированные.

Разработка комбинированного метода интенсификации подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана. Регенерация геотехнологических скважин в сложных горно-геологических условиях на технологических блоках с высоким содержанием глинистых и карбонатных минералов показывает низкую эффективность применяемых способов. Основная причина этого заключается в том, что каждый из способов направлен на решение какой-то одной задачи: разглинизация стенок скважины или очистка фильтра и прифильтровой зоны от механических примесей. Необходимо чтобы метод был комплексным и включал операции по растворению глинистых минералов в прифильтровой зоне и очистку фильтра от механических примесей. Этим требованиям отвечает комбинированный способ регенерации, основанный на импульсном воздействии сжатого воздуха с последующей химической обработкой. На рисунке 3 показана схема работы комбинированного метода.

Импульсы сжатого воздуха вызывают не только разрушение кольматирующих отложений под действием ударных волн, но и распространение декольматирующего раствора на значительную глубину. Состав декольматирующего раствора и его количество определяют опытным путем, учитывая свойства и структуру кольматанта, длину обрабатываемого фильтра и радиус растекания.

С увеличением глубины погружения генератора импульсов ниже динамического уровня жидкости в скважине коэффициент полезного действия (КПД) эрлифта увеличивается. Гидравлический КПД эрлифта определяется по формуле:

$$\eta = \frac{(k-1)^{0,95}}{1,05 \cdot k}, \quad (1)$$

где k – коэффициент погруженности напорного рукава в скважину.

Воздух, высвобождаясь из смесителя, расширяется и под действием давления пластовых вод поднимается на поверхность по колонне, захваты-

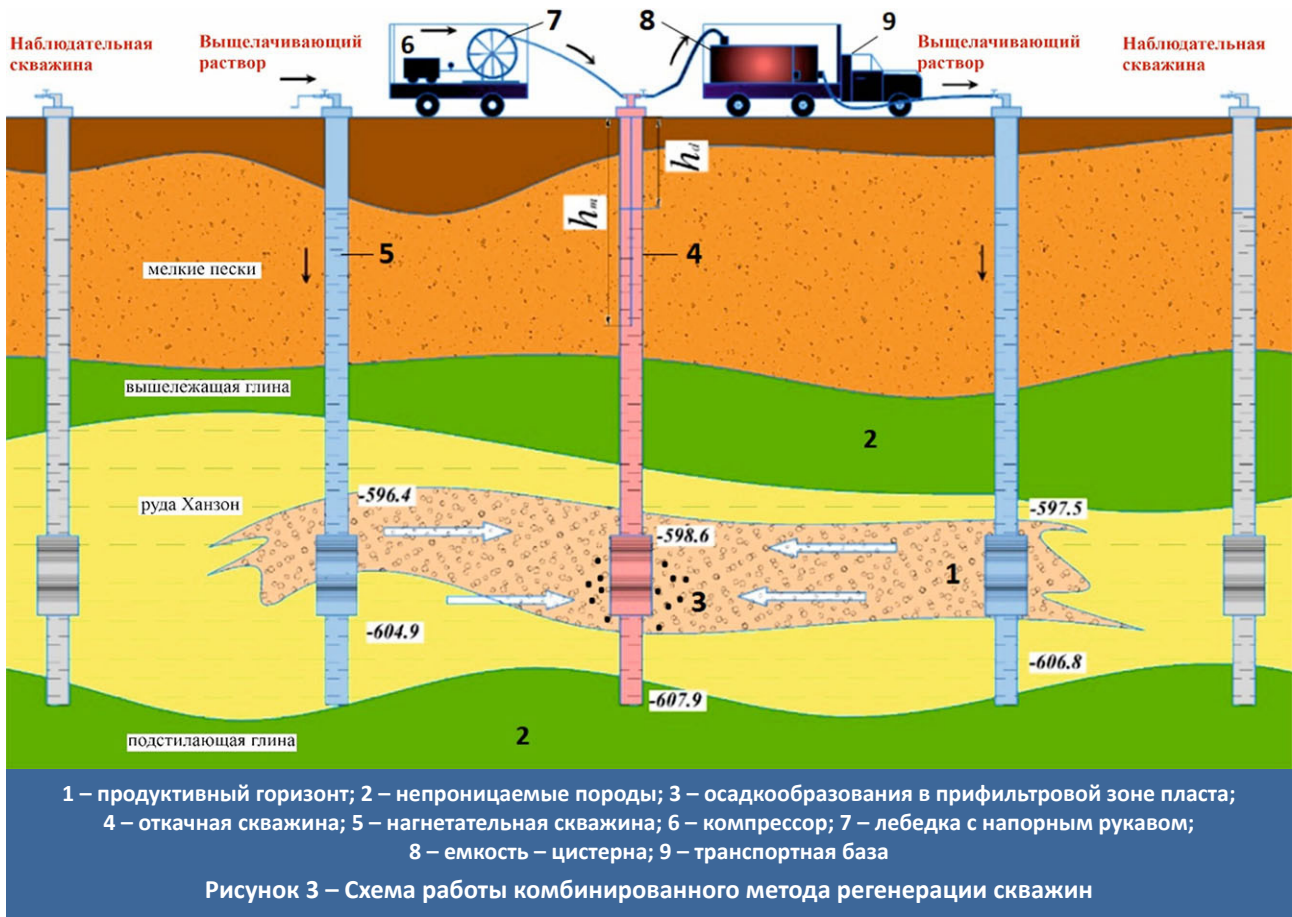


Рисунок 3 – Схема работы комбинированного метода регенерации скважин

вая пластовую воду и разрушенные осадкообразования. Таким образом, образуется подъем и вынос частиц из фильтра на дневную поверхность. Удельная скорость воздуха V_0 (м³/ч), необходимая для подъема из скважины 1 м³ жидкости, определяется по формуле:

$$V_0 = 10 \cdot \eta \cdot \frac{\ln\left(\frac{H-h+10}{10}\right)}{h}, \quad (2)$$

где h_m – глубина погружения генератора импульсов в скважину, м; h_d – глубина динамического уровня столба жидкости в скважине.

Пластовая вода позволяет очищать фильтр от осадкообразований и выносит его на дневную поверхность. Расход пластовой воды (м³/с) из условия полного выноса коагулянта из фильтра скважины определяется по формуле:

$$Q_r = \frac{\pi}{4} (D)^2 \cdot V_n, \quad (3)$$

где Q_r – расход пластовой воды, м³/с, D – наибольший внутренний диаметр скважины, составляет 0,74 м, V_n – скорость восходящего потока пластовой воды в скважине, м/с ($V_n = 0,9 \div 1,0$).

Столб жидкости создает давление на уровне генератора импульсов в зависимости от глубины его погружения в скважине и динамического уровня пластовых вод. Для запуска эрлифта и подъема осадкообразований на дневную поверх-

ность требуется необходимое расчетное давление компрессора (МПа) для запуска эрлифта в работу, которое определяется по формуле:

$$P_s = \rho \cdot g \cdot h_m \left(1 + \frac{d_b^2}{D_n^2}\right), \quad (4)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³ – 1060; g – ускорение свободного падения; h_m – геометрическое погружение генератора импульсов – 300 м; d_b – внутренний диаметр воздухопровода – 0,06 м; D_n – диаметр колоны – 0,74 м.

Удельный объем воздуха, (м³) необходимый для подъема осадкообразований на дневную поверхность зависит от плотности раствора и коэффициента погружения генератора импульсов и определяется по формуле:

$$q = \left(\frac{2}{k} - 1\right) \left(1 + \frac{\rho \cdot g \cdot h_m}{2P_a}\right), \quad (5)$$

где q – удельный расход воздуха, м³/мин; k – коэффициент погружения генератора импульсов, 1,5; P_a – атмосферное давление, равное 101 325 Па.

Опыт регенерации скважин с применением комбинированного метода на скважинах в большинстве случаев позволяет увеличить удельные дебиты на 50-55% от первоначальных. Интенсивность снижения производительности скважин, обработанных комбинированным методом, оказалась в 1,5-2 раза ниже, по сравнению с традиционными методами обработки.

Выводы. Результаты проведения микроскопических исследований керновых проб визуально показывают размеры зерен кристаллов и других минералов вмещающих пород продуктивного горизонта, анализ данных позволил определить причины снижения фильтрационных характеристик руд. Данные пробы Сантонского яруса свидетельствуют о наличии обломков зерен кварца неправильной, остроугольной и округлыми формами в среднем с размерами до 0,2-0,3 мм, прозрачного микроклина, пелитизированного ортоклаза. Результаты пробы Маастрихтского яруса свидетельствуют о наличии обломков зерен кварца неправильной формы с размерами до 0,2-0,4 мм, наличием калиевых полевых шпатов, глинисто-слюдистых минералов. Керновая проба Кампанского яруса содержит обломки зерен кварца с неправильными формами со средними размерами до 0,2-0,3 мм, присутствием калий полевых шпатов, микроклин, ортоклаз, каолинит, тонкозернистые агрегаты каолинита с гипсом. Наличие тонкозернистых частиц снижает фильтрационные характеристики руд и увеличивает

период обработки блоков.

Разработанный комбинированный метод восстановления фильтрационных характеристик продуктивного горизонта на основе обработки фильтровой части скважин импульсами воздуха позволяет повысить производительность и период бесперебойной работы скважин, снизить удельные расходы химических реагентов и увеличить эффективность скважинной добычи урана.

Дальнейшие исследования по изучению вопросов повышения эффективности растворения и предотвращения осадкообразования продуктивного горизонта в различных условиях с применением физико-химических методов воздействия позволит снизить себестоимость готовой продукции и повысить производительность труда.

Данные исследования были произведены в рамках проекта грантового финансирования молодых ученых 2023-2025 гг. АР19575556 «Разработка инновационной технологии интенсификации подземного выщелачивания урана с применением полимерных и вяжущих компонентов в условиях скважинной добычи урана».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rakishev B.R., Mataev M.M., Kenzhetaev Z.S. Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach meaning of uranium // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2019. (7). Pp. 123-131.
2. Nikitina Yu.G., Poyezzhayev I.P., Myrzabek G.A. Improvement of opening schemes of wellfields to optimize the cost of mining uranium // Gornyi Vestnik Uzbekistana. – 2019. – Vol. 1. Pp. 6-11.
3. Rakishev B., Mataev M., Kenzhetaev Zh., Altaybayev B., Champikova A. Research into teaching of uranium from core samples in tables using surfactants // Mining of Mineral Deposits. – 2020. – 14 (4). – Pp. 97-104.
4. Rakishev B.R., Yazikov E.G., Mataev M.M., Kenzhetaev Zh.S. Studies of uranium leaching from core sample in tables using an oxidizer // Gornyi Zhurnal. 2021, (9), pp. 84-89.
5. Kenzhaliev B.K., Surkova T.Yu., Berkinbaeva A.N., Dosymbaeva Z.D. Development of a method of modifying a natural sorbent for uranium extraction. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 55, 5, 2020, pp. 1041-1046.
6. Ricotta P., Karataev M.S., Mauroa Z.S., Shah N., Michelle L. Clark, Konadu D. Impact of future energy policy on water resources in Kazakhstan. Energy Strategy Reviews. Volume 24, April 2019, pp. 261-267.
7. Kenzhaliev B.K., Surkova T.Yu., Berkinbayeva A.N. To the question of the intensification of the processing of uranium extraction from refractory raw materials. Metalurgia 58 (2019) 1-2, pp. 75-78.
8. Chekulaev A.V., Egorov A.S., Molchanov A.A. Results of plasma-impulse technology application at uranium Inkay deposit, Kazakhstan. Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals. Pp. 105-111.
9. Volotkina A.V., Volotkina I.E., Panin E.A. Preliminary heat treatment of stainless steel before torsion under high pressure. Proceedings of the University No. 1 (86) • 2022. Pp. 28-33.
10. Yusupov Kh.A., Aliev S.B., Dzhakupov D.A., Elzhanov E.A. Application of ammonium bifluoride for chemical treatment of wells in underground uranium leaching / Gornyi zhurnal, 2017, (4), pp. 57-60.

Төмен сүзгілік сипаттамалары бар кендерде ұңғымалық уран өндіруді қарқындатудың аралас әдісі

¹**КЕНЖЕТАЕВ Жигер Смадиевич**, PhD, бас ғылыми қызметкер, kzhiger@yahoo.com,

¹***ТОҒЫЗОВ Қуаныш Серікханұлы**, PhD, профессор, k.togizov@satbayev.university,

¹**ЖАПАБАЕВ Құдайберген Аллабергенұлы**, аға ғылыми қызметкер, zharabaev.kudaiberger@mail.ru,

¹**ИСАЕВА Людмила Жандүйсенқызы**, г.-м.ғ.д., қауымдастырылған профессор, l.isayeva@satbayev.university,

¹**КИСЕЕВА Шырын Өркенқызы**, оқытушы, s.kisseyeva@satbayev.university,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Осы зерттеудің мақсаты кеннің және сыйымды жыныстардың геологиялық сипаттамаларына байланысты уранды ұңғымада өндіру кезінде кендердің сүзу сипаттамаларын арттырудың тиімді әдісін әзірлеу болып табылады. Бұл ретте өндіру өнімділігін арттыру және айдау ұңғымаларының қабылдағыштығы,

жабдықтың үздіксіз жұмыс істеу кезеңін ұлғайту және өндіруге арналған пайдалану шығыстарын азайту көзделді. Жұмыста әртүрлі тау-кен геологиялық жағдайлардағы технологиялық блоктарда уранды ұңғымалық өндірудің геотехнологиялық параметрлері зерттелді және бағаланды. Керн материалының сынамалары алынды және Сантон, Маастрихт және Кампанский кендерінің аралықтарын қамтитын жыныстардың құрылымы мен құрамы микроскопиялық әдіспен анықталды. Ұңғыманы өндіруді қарқындатудың қолданылатын әдістерін салыстырмалы талдау негізінде өнімді горизонттың өткізгіштігін қалпына келтірудің біріктірілген әдісі жасалды. Сығылған ауа импульстарының тербелістерін еріткіш химиялық реагенттермен үйлестіре отырып, ұңғымаларды қалпына келтірудің біріктірілген әдісінің тиімді параметрлері есептеліп, негізделген. Ұңғымаларды жаңа әдіспен өңдеу уақытын қысқарту және ұңғымалардың өнімділігін арттыру мүмкіндігі талқыланды. Төмен сүзгілік сипаттамалары бар кендерде уранды ұңғымалық өндіруді қарқындатудың құрамдастырылған әдісін есептеу және қолдану әдістемесі әзірленді.

Кілт сөздер: уран, ұңғымалық өндіру, шөгінді қалыптастыру, микроскопиялық зерттеулер, біріктіру.

Combined Method of Intensification of Borehole Uranium Mining in Ores with Low Filtration Characteristics

¹KENZHETAEV Zhiger, PhD, Chief Researcher, kzhiger@yahoo.com,

^{1*}TOGIZOV Kuanysh, PhD, Professor, k.togizov@satbayev.university,

¹ZHAPABAYEV Kudaibergen, Senior Researcher, zhapabaev.kudaibergen@mail.ru,

¹ISSAYEVA Lyudmila, Dr. of Geol. and Min. Sci., Associate Professor, l.issayeva@satbayev.university,

¹KISSEYEVA Shyryn, Lecturer, s.kisseyeva@satbayev.university,

¹NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Kazakhstan, Almaty, Satpayev Street, 22a,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this study is to develop an effective method for increasing the filtration characteristics of ores during borehole uranium mining, depending on the geological characteristics of ores and host rocks. At the same time, it is planned to increase the productivity of production and the pick-up rate of injection wells, increase the period of uninterrupted operation of equipment and reduce operating costs for production. The geotechnological parameters of borehole uranium mining on technological blocks of various mining and geological conditions are investigated and evaluated. Core material samples were taken and the structures and compositions of the host rocks of the Santonian, Maastrihtian and Campanian ore intervals were determined by microscopic method. Based on a comparative analysis of the methods used to intensify borehole production, a combined method for restoring the permeability of the productive horizon was developed. The effective parameters of the combined well regeneration method combining fluctuations of compressed air pulses with chemical reagents – solvents are calculated and justified. The possibility of reducing the processing time of wells by a new method and increasing the productivity of wells is discussed. The method of calculation and application of the combined method of intensification of borehole production of uranium in ores with low filtration characteristics has been developed.

Keywords: uranium, borehole mining, sedimentation, microscopic studies, combine.

REFERENCES

1. Rakishiev B.R., Mataev M.M., Kenzhetaev Z.S. Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach meaning of uranium // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2019. (7). Pp. 123-131.
2. Nikitina Yu.G., Poyezzhayev I.P., Myrzabek G.A. Improvement of opening schemes of wellfields to optimize the cost of mining uranium // Gornyi Vestnik Uzbekistana. – 2019. – Vol. 1. Pp. 6-11.
3. Rakishiev B., Mataev M., Kenzhetaev Zh., Altaybayev B., Champikova A. Research into teaching of uranium from core samples in tables using surfactants // Mining of Mineral Deposits. – 2020. – 14 (4). – Pp. 97-104.
4. Rakishiev B.R., Yazikov E.G., Mataev M.M., Kenzhetaev Zh.S. Studies of uranium leaching from core sample in tables using an oxidizer // Gornyi Zhurnal. 2021, (9), pp. 84-89.
5. Kenzhaliyev B.K., Surkova T.Yu., Berkinbaeva A.N., Dosymbaeva Z.D. Development of a method of modifying a natural sorbent for uranium extraction. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 55, 5, 2020, pp. 1041-1046.
6. Ricotta P., Karataev M.S., Mauroa Z.S., Shah N., Michelle L. Clark, Konadu D. Impact of future energy policy on water resources in Kazakhstan. Energy Strategy Reviews. Volume 24, April 2019, pp. 261-267.
7. Kenzhaliyev B.K., Surkova T.Yu., Berkinbayeva A.N. To the question of the intensification of the processing of uranium extraction from refractory raw materials. Metalurgia 58 (2019) 1-2, pp. 75-78.
8. Chekulaev A.V., Egorov A.S., Molchanov A.A. Results of plasma-impulse technology application at uranium Inkay deposit, Kazakhstan. Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals. Pp. 105-111.
9. Volotkina A.V., Volotkina I.E., Panin E.A. Preliminary heat treatment of stainless steel before torsion under high pressure. Proceedings of the University No. 1 (86) • 2022. Pp. 28-33.
10. Yusupov Kh.A., Aliev S.B., Dzhakupov D.A., Elzhanov E.A. Application of ammonium bifluoride for chemical treatment of wells in underground uranium leaching / Gornyi zhurnal, 2017, (4), pp. 57-60.