ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(7):123-131

УДК 669.227/228 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-123-131

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКООБРАЗОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ СКВАЖИННОЙ ДОБЫЧИ УРАНА

Б.Р. Ракишев[1], М.М. Матаев[1], Ж.С. Кенжетаев[1]

[1] Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: b.rakishev@mail.ru

Аннотация: Описана технология скважинной добычи урана, применяемая на добычных предприятиях Казахстана, подробно изучены факторы, влияющие на снижение фильтрационных характеристик продуктивных пластов, а также описан эффективный метод восстановления первоначальной пористости. Рассмотрены процессы, протекающие при скважинной добыче урана, с применением серной кислоты в качестве растворителя, а также условия и причины снижения производительности геотехнологических скважин в ходе их эксплуатации. Рассмотрены воздействия понижения проницаемости вмещающих пород в сложных горно-геологических условиях на процессы скважинной добычи урана и причины снижения ее эффективности. Отобраны, подготовлены и изучены в лабораторных условиях минералогический состав осадкообразований из трех месторождений Сырдарьинской урановой провинции. Установлены методом рентгенофазового анализа и обсуждены особенности образования и количественно-качественные параметры осадков по каждому месторождению урана и определены причины их накопления в процессе скважинной добычи урана. Рассмотрены современные эффективные методы восстановления производительности скважин химическими реагентами при преобладании химического типа осадкообразований, основанные на растворении рассмотренных и изученных проб. Рекомендованы оптимальные методы химической обработки скважин с целью повышения фильтрационных характеристик продуктивных пластов.

Ключевые слова: скважинная добыча урановых руд, осадкообразования, рентгенофазовый анализ, химическая обработка, ремонтно-восстановительные работы.

Для цитирования: *Ракишев Б. Р., Матаев М. М., Кенжетаев Ж. С.* Исследование минералогического состава осадкообразований в условиях скважинной добычи урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 123–131. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-123-131.

Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach mining of uranium

B.R. Rakishev[1], M.M. Mataev[1], Z.S.Kenzhetaev[1]

[1] K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: b.rakishev@mail.ru

Abstract: The article gives details of the in-situ uranium leach technology used in Kazakhstan mines, factors reducing permeability of productive strata and the efficient method for recovery of initial porosity. The processes of in-situ uranium leaching with sulfuric acid as a dissolver, as well as causes and conditions of drop in well productivity during operation are discussed. The effect of

© Б.Р. Ракишев, М.М. Матаев, Ж.С. Кенжетаев. 2019.

reduction in permeability of enclosing rocks in difficult geological conditions on the processes of in-situ uranium recovery and its degradation is considered. Sediments sampled from three deposits located in the Syr-Darya uranium province are prepared and their mineralogical compositions are studied at lab scale. Found by the X-ray phase analysis, features and quantitative–qualitative parameters of sediments from each uranium deposit are discussed, and the causes of sedimentation during in-situ uranium leaching are determined. The modern efficient methods of well productivity recovery using chemical agents in case of prevailing chemical type of sediments, based on dissolution of analyzed samples are considered. The optimal chemical treatment of wells to improve permeability of productive strata is recommended.

Key words: in-situ uranium recovery, sedimentation, X-ray phase analysis, chemical treatment, repair-and-renewal operations.

For citation: Rakishev B. R., Mataev M. M., Kenzhetaev Z. S. Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach mining of uranium. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(7):123-131. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-123-131.

Введение

Технология скважинной добычи урана предусматривает откачивание продуктивных растворов (ПР) из добычных скважин эксплуатационного блока, сорбционное извлечение из растворов, осветление маточника с последующим подкреплением концентрированной серной кислотой, подачу подкисленного выщелачивающего раствора (ВР) через нагнетательные скважины в рудное тело блока [1—4]. При этом, выщелачивание является основной операцией подготовки урановой руды к добыче, так как оно определяет количество и стоимость конечного продукта. Применение серной кислоты в качестве реагента-растворителя на предприятиях Казахстана обусловлено низкой стоимостью, доступностью, возможностью относительно полного перевода урана в раствор [5—7]. Однако высокая кинетика взаимодействия серной кислоты с полевыми шпатами и карбонатными минералами рудовмещающих

Таблица 1

Минералогический состав руд и вмещающих пород месторождений урана Сырдарьинской депрессии

Mineralogical composition of ores and host rocks of uranium deposits of the Syrdarya Depression

Минерал, минеральный агрегат	Содержание, %
Кварц	30—80
Полевые шпаты	5—40
Обломки пород	5—30
Акцессорные минералы	+
Минералы глин (иллит, каолин, монтмориллонит, глауконит, хлорит)	5—45
Карбонаты (кальцит, сидерит, доломит, анкерит)	0—5
Органические остатки (растительный детрит, костные остатки, битумы и др.)	5—15
Сульфиды (пирит, марказит, реже сульфиды Mo, Cu, Zn, Pb),	+++
Урановая минерализация	+

80 — %, содержание минерала, минерального агрегата, фазы;
+++ — большое количество минерала, минерального агрегата, фазы;
++ — среднее количество минерала, минерального агрегата, фазы;
+ — малое количество минерала, минерального агрегата, фазы;
— — минерал, минеральный агрегат, фаза отсутствуют.

пород в сложных горно-геологических условиях вызывает осадкообразование в виде геохимического барьера, препятствующего процессу выщелачивания.

При проектировании разработки месторождений урана скважинным методом, производят исследования минерального состава руд и вмещающих пород продуктивного горизонта, на основании которых строится карта рудоносности [8, 9]. В табл. 1 приведены исходные данные породообразующих минералов, встречающиеся в рудах на месте залегания урана на месторождениях, приуроченных к Сырдарьинской депрессии. Из таблицы видно, что основным компонентом вмещающих пород является кварц, содержание которого составляет от 30 до 80% от общего числа минералов продуктивного горизонта. Высокое содержание полевых шпатов и глинистых минералов (>30%) повышает образование механической и ионообменной кольматации, которые образуется при переносе потоком растворов в продуктивном горизонте и набухании глин. Содержание карбонатных минералов в рудах от 1,5% и более вызывает осадкообразования химического характера, осаждающиеся при взаимодействии с растворами серной кислоты.

Сложно растворимые осадки и перемещенные глинистые частицы в продуктивном горизонте увеличивают гидравлические сопротивление и образуют непроницаемые участки геохимического барьера, перекрывающие линии тока растворов. Как правило, понижение фильтрационных характеристик продуктивного горизонта ведет к снижению содержания урана в ПР, и уменьшению межремонтного цикла (МРЦ) скважин, что замедляет процесс отработки эксплуатационных блоков, вследствие чего, повышается расход серной кислоты и других химических реагентов. Данные блоки нуждаются в частом проведении ремонтно-восстановительных работ и дополнительном повышении проницаемости вмещающих пород [10, 11]. Протекающие окислительно-восстановительные реакции в пласте в значительной мере определяют эффективность технологии ПСВ урана, полноту извлечения металлов в раствор [12, 13]. Как следствие, удельные расходы химических реагентов, энергозатрат и в целом технико-экономические и экологические показатели производства. В сложных горно-геологических условиях увеличение удельных расходов серной кислоты обусловлено преодолением геохимического барьера растворением осадков в растворе серной кислоты, что значительно увеличивает себестоимость конечной продукции.

При решении проблем с кольматацией скважин в первую очередь необходимо определить вид кольматации (кольматантов), образующийся при сернокислотном выщелачивании и установить минералогический и гранулометрический состав рудовмещающих пород продуктивного горизонта. Изучение состава осадкообразующих компонентов позволит установить причины, снижающие проницаемость в породе в условиях сернокислотного выщелачивания урана. Определение физико-химических свойств кольматантов необходимо для подбора более эффективных методов восстановления требуемой фильтрации, обеспечивающих увеличение производительности и продолжительности бесперебойной работы геотехнологических скважин.

Рентгенофазовое исследование осадкообразований

Для поиска таких методов, были отобраны фрагменты осадкообразования из внутренних поверхностей погружных насосов откачных скважин из трех месторождений Сырдарьинской урановорудной провинции. Они отрабатываются

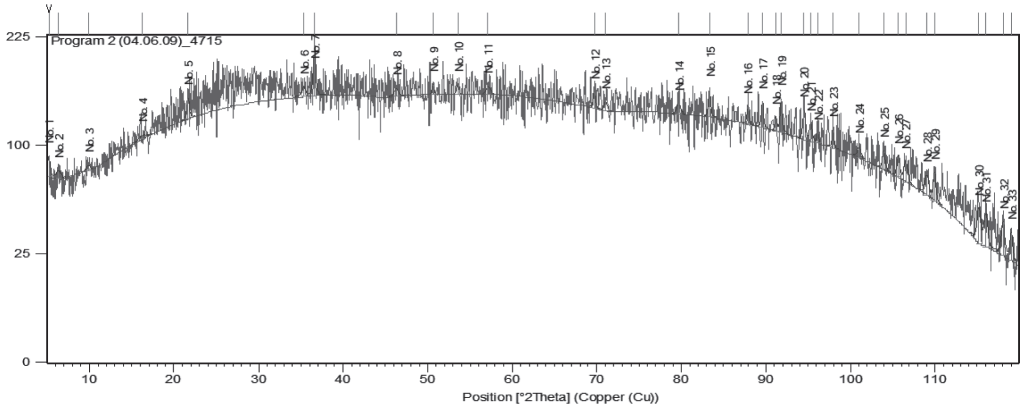

Рис. 1. Дифрактограмма кольматанта с месторождения «Северный Харасан»
Fig. 1. Diffractogram of sedimentation from the North Harasan field

при сернокислотном выщелачивании урана. Высушенные осадки проб № 1 представляли собой пылевидную смесь красного цвета, а высушенные осадки проб № 2—3 — белый порошок с бежевыми пятнами и наличием крупных однородных образований и песка.

Фазовый состав кольматантов контролировали методом рентгенофазового анализа, который проводили на рентгеновском дифрактометре X'Pert MPD PRO (PANalytical). Условия съемки: CuKα — излучение, Ni — фильтр, U = 30 кВ, I = 10 мА, скорость вращения 1000 имп/с, постоянная времени τ = 5 с, 2θ = 10—90°. Интенсивность дифракционных максимумов оценивалась по 100-балльной шкале в процентах относительно самой высокой линии. Обработку массива экспериментальных данных и межплоскостных расстояний осуществляли по формуле Вульфа–Бреггов. Фазовый анализ минералогического состава кольматирующих материалов определялись в соответствии рентгенографических данных международного кристаллографического общества.

Образцы кольматантов были подвергнуты визуальному осмотру. Они бело-желто-оранжевого цвета, твердые осадкообразования. Для проведения физико-химического анализа кольматанты растирали в агатовой ступке до порошкообразного состояния и исследованы рентгенофазовым анализом. Стабильные отражения рентгеновских лучей на рентгенограмме колматанта пробы № 1 приведены на рис. 1 они показывают

Таблица 2

Минералогический состав кольматанта месторождения «Северный Харасан»
Mineralogical composition of sediment from the North Harasan field

Наименование компонента	Химическая формула	Количество, %
Кварц	SiO_2	2
Фосфат алюминия	Al (PO_4)	11
Оксид железа	Fe_3O_4	14
Сульфат магния	MgS	11
Кальций алюминий гидроксид	$CaAl_2$ $((OH)_8$ $(H_2O)_2)$	1
Анкерит	Ca (Mg Fe Mn) $(CO_3)_2$	51
Доломит	Ca Mg Fe $(CO_3)_2$	6

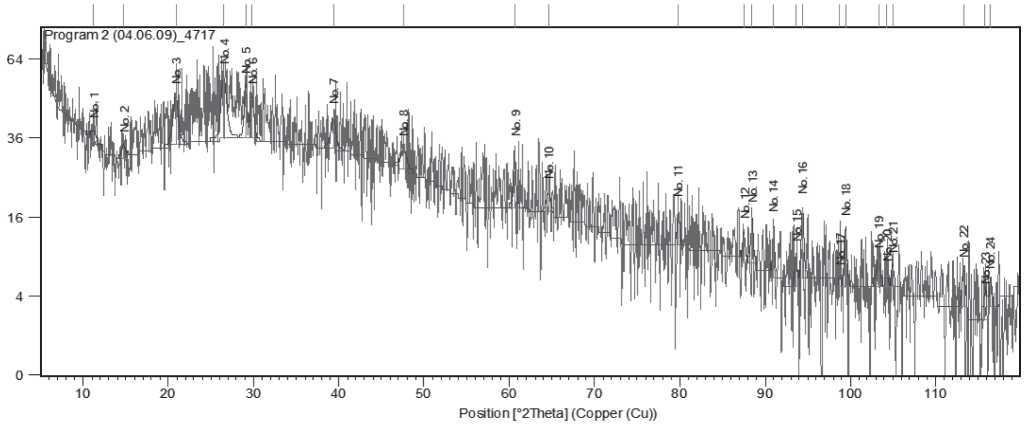

Рис. 2. Дифрактограмма кольматанта с месторождения «Северный Карамурун»
Fig. 2. Diffractogram of sedimentation from the North Karamurun field

Таблица 3

Минералогический состав кольматанта с месторождения «Северный Карамурун»
Mineralogical composition of sediment from the North Karamurun field

Наименование компонента	Химическая формула	Количество, %
Магнезит	$Mg\ Ca\ CO_3$	16
Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	13
Кварц	SiO_2	14
Сульфат цинка	ZnS	6
Фосфат железа	$Fe_2\ P_2\ O_7$	15
Берлинит	$Al\ PO_4$	16
Монетит	$Ca\ (HPO_4)$	20

высокую кристаллизацию осадкообразующих химических соединений. Анализ значений межплоскостных расстояний подтверждает существование в составе полевого шпата сложных ферроалюмосиликатов и гипса. Заметно рентгеноаморфное состояние из-за слабых отражений рентгеновских лучей.

Результаты количественного минералогического состава кольматирующих объектов приведены в табл. 2. Из этих данных видно, что основу кольматантов (около 51%) составляет химическое соединение ($Ca\ (Mg\ Fe\ Mn)\ (CO_3)_2$), минерал — анкерит. Остальную часть кольматирующих фаз составляют породообразующие минералы доломит, оксид железа и сульфат магния (6%, 14%, 11% соответственно). Преобладание анкерита в осадках обусловлено повышенным содержанием карбоната железа в продуктивном горизонте. Данные осадкообразования характерны для химического происхождения, образующиеся в результате выпадения в осадок при взаимодействии карбонатных минералов с сернокислотными растворами.

На рис. 2 приведена ренгенограмма кольматанта пробы № 2, отобранной с месторождения «Северный Карамурун».

Также на основании рентгенофазового анализа колматанта № 2 в табл. 3 приведен количественный минералогический состав кольматирующих объектов. Из данных табл. 3 видно, что основу кольматантов (около 29%) составляет

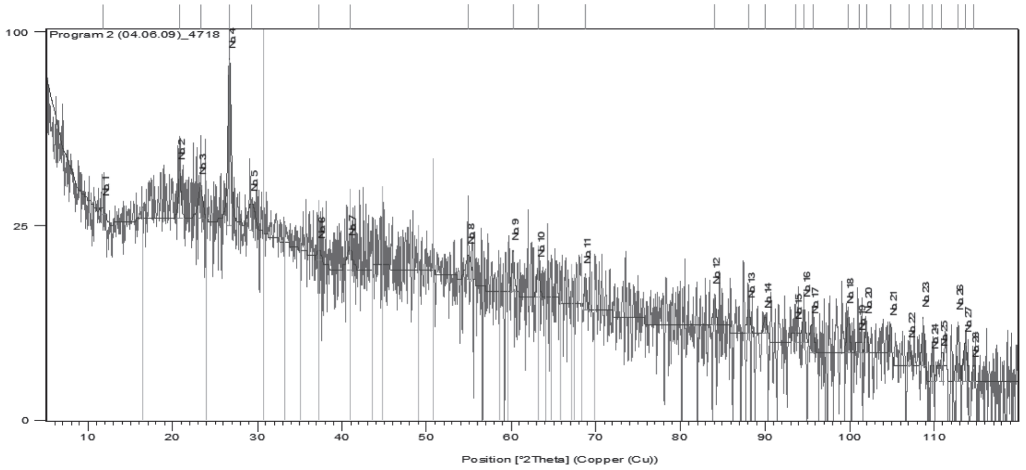

Рис. 3. Дифрактограмма кольматанта с месторождения «Ирколь»
Fig. 3. Diffractogram of sedimentation from the Irkol field

Таблица 4

Минералогический состав кольматанта с месторождения «Ирколь»
Mineralogical composition of sediment from the Irkol field

Наименование компонента	Химическая формула	Количество, %
Кварц	SiO_2	23
Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	18
Берилинит	$Al\ PO_4$	14
Анкерит	$Ca\ (Mg\ Fe\ Mn)\ (CO3)_2$	7
Магнезит	$(Ca\ Mn)(Fe\ Mg)\ (CO3)_2$	14
Доломит	$Ca\ Mg\ Fe\ (CO_3)_2$	24

карбонатные соединение (Ca, Mg, CO_3), минералы — магнезит, доломит, карбонат кальция и магния. Преобладание магнезита в осадкообразованиях обусловлено повышенным содержанием карбоната магния в продуктивном горизонте. Остальную часть кольматирующих фаз составляют породообразующие минералы: оксид кремния, бирелинит и монетит (14%, 16%, 20% соответственно). Присутствие кварцевых и алюминиевых соединений свидетельствует о растворении и выпадение в осадок полевых шпатов. Данные осадкообразования характерны как для химического, так и для механического происхождения, образованные при растворении и переносе мелких частиц полевых шпатов.

На рис. 3 приведена ренгенограмма кольматанта пробы № 3, отобранной с месторождения «Ирколь».

Также на основании рентгенофазового анализа колматанта № 3 в табл. 3 приведен количественный минералогический состав кольматирующих объектов. Из данных табл. 4 видно, что основу кольматантов (около 45%) составляет карбонатные соединение (Ca, Mg, CO_3), минералы — магнезит, доломит, анкерит. Преобладание магнезита в осадкообразованиях обусловлено повышенным содержанием карбоната магния в продуктивном горизонте. Остальную часть кольматирующих фаз составляют породообразующие минералы оксид кремния, гипс и бирелинит (23%, 18%,

14% соответственно). Наличие большого количества кварцевых и алюминиевых соединений также как и в пробе 2 свидетельствует о растворении, переносе и осаждении полевых шпатов.

Выводы

Результаты рентгенофазовых анализов осадкообразований показывают,что основная масса относится к химическому типу. При этом выпадает в осадок множество компонентов, включая соли кальция, железа, магния и гидрооксиды карбонатов кальция и магния, песок и глину. Осаждение множества компонентов свидетельствует о разнообразии протекающих процессов в рудовмещающих породах при сернокислотном выщелачивании урана.

Для устранения подобного типа осадкообразований и повышения проницаемости прифильтровой зоны пласта наиболее эффективно применение химического метода обработки скважин. Данный метод воздействия на пласт основан на подаче водных растворов кислот в фильтровую зону скважины и реагировании с кольматирующими образованиями, растворении и удалении продуктов реакции за пределы скважины, обычно путем эрлифтной откачки. В качестве растворителя карбонатных осадкообразований широко применяют соляную и плавиковую кислоты, эффективно растворяющие карбонатные, кремневые, железистые соединения.

Применение химической обработки скважин наиболее эффективно в условиях с характерным химическим типом осадкообразований. Она позволяет повысить проницаемость прифильтровой зоны и увеличить бесперебойный период скважин. Однако при отсутствии кремневых компонентов в составе осадкообразований и преобладании железистых и карбонатных минералов достаточно применения солянокислотоной обработки скважин. В условиях же наличия разнообразных компонентов в составе осадков наиболее высокой эффективностью обладает применение плавиковой кислоты, имеющей высокую растворяющую способность как кремниевых, так и карбонатных образований [14, 15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Молчанов А. А.*, *Демехов Ю. В.* Повышение эффективности добычи урана из месторождений гидрогенного типа, разрабатываемых методом подземного скважинного выщелачивания Республики Казахстан (на примере месторождения восточный Мынкудук) / Актуальные проблемы урановой промышленности. VII международная конференция: сборник научных работ. — Алматы: НАК Казатомпром, 2014. — С. 92—98.

2. *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. Vol. 6. Pp. 62—73.

3. *Баймурзаев Х. Р.*, *Маркелов С. В. и др.* Влияние химической кольматации порово-трещинного массива на производительность блоков подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 6. — С. 211—215.

4. *Баймурзаев Х. Р.*, *Малухин Н. Г. и др*. Обоснование рациональной области применения технологии подземного выщелачивания глинистых урановых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 10. — С. 223—225.

5. *Рогов Е. И.*, *Язиков В. Г.*, *Рогов А. Е.* Гидродинамическая модель подземного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2000. — № 5. — С. 40—42.

6. *Fyodorov G. V.* Uranium production and the environment in Kazakhstan // International Atomic Energy Agency. 2000. Pp. 191—198.

7. *Joint A.* Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt France. Organisation for economic cooperation and development, 2018. 462 p.

8. *Аликулов Ш.Ш., Собиров Ж., Хайдарова М.Э.* Исследования и внедрение способов ограничения растекания продуктивных растворов и интенсификации технологических процессов подземного выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. —2018. — № 3. — С. 100—106.

9. *Сатыбалдиев Б.С., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М.* Оценка эффективности использования фильтрационного выщелачивания для извлечения урана из урановой руды // Вестник КазНУ имени Аль-Фараби. — 2015. — № 3. — С. 23—27.

10. *Яшин С.А.* Подземное скважинное выщелачивание урана на месторождениях Казахстана // Горный журнал. — 2008. — № 3. — С. 45—49.

11. *Матаев М.М., Кенжетаев Ж.С.* Новые подходы регенерации скважин при подземном выщелачивании урана / Инновации в комплексной переработки минерального сырья: сборник научных работ международнй научно-практической конференции Абишевские чтения-2016. — Алматы, 2016. — С. 138—142.

12. *Филипов А.П., Нестеров Ю.В.* Редокс-процессы и интенсификация металлов. — М.: Руда и металлы. — 2009. — 543 с.

13. *Баймурзаев Х.Р., Маркелов С.В.* Влияние химической кольматации порово-трещинного массива на производительность блоков подземного выщелачивания // Горный Вестник Узбекистана. — 2011. — № 1. — С. 45—49.

14. *Mataev M.M., Rakishev B.R., Kenzhetaev G.S.* The impact of ammonium bifluoride complex on colmataging formations during the process ofin situ uranium leaching // International journal of advanced research. 2017. No 5. Pp. 147—154.

15. *Матаев М.М., Кенжетаев Ж.С.* Подбор эффективных методов ремонтно-восстановительных работ при подземном выщелачивании урана // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 6. — С. 1001—1005. ГИАБ

REFERENCES

1. Molchanov A.A., Demekhov Yr.V. Stimulation of uranium recovery from hydrogenous deposits by in-situ leaching in Kazakhstan (in terms of the East Mynkuduk deposit). *Aktual'nye problemy uranovoy promyshlennosti. VII international conference: collection of scientific works*. Almaty, Kazatomprom, 2014, pp. 92—98. [In Russ].

2. 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. Vol. 6. Pp. 62—73.

3. Baymurzaev Kh.R., Markelov S.V. Effect of chemical colmatation in fractured–porous rock mass on block-wise in-situ leaching performance. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 6, pp. 211—215. [In Russ].

4. Baymurzaev Kh.R., Malukhin N.G. Justification of rational application range for in-situ leaching of argillaceous uranium ore. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 10, pp. 223—225. [In Russ].

5. Rogov E.I., Yazikov V.G., Rogov A.E. Hydrodynamic model on in-situ uranium recovery. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2000, no 5, pp. 40—42. [In Russ].

6. Fyodorov G.V. Uranium production and the environment in Kazakhstan. *International Atomic Energy Agency*. 2000. Pp. 191—198.

7. Joint A. *Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency*. Boulogne-Billancourt France. Organisation for economic cooperation and development, 2018. 462 p.

8. Alikulov Sh.Sh., Sobirov Zh., Khaydarova M.E. Study and introduction of methods of pregnant solution flow restriction and in-situ leach process intensification. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2018, no 3, pp. 100—106. [In Russ].

9. Satybaldiev B.S., Uralbekov B.M., Burkitbaev M.M. Evaluation of filtration leaching efficiency in uranium production. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo universiteta imeni Al'-Farabi*. 2015, no 3, pp. 23—27. [In Russ].

10. Yashin S.A. In-situ uranium leaching in Kazakhstan mines. *Gornyy zhurnal*. 2008, no 3, pp. 45—49.

11. Mataev M.M., Kenzhetaev Zh.S. New approaches to well reactivation in in-situ uranium recovery. *Innovatsii v kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya: sbornik nauchnykh rabot*

mezhdunarodny nauchno-praktícheskoy konferentsii Abishevskie chteniya-2016. Almaty, 2016, pp. 138—142. [In Russ].

12. Filipov A.P., Nesterov Yu.V. *Redoks-protsessy i intensifikatsiya metallov* [Redox-processes and intensification of metals], Moscow, Ruda i metally. 2009, 543 p.

13. Baymurzaev Kh.R., Markelov S.V. Effect of chemical colmatation in fractured–porous rock mass on block-wise in-situ leaching performance. *Gornyy Vestnik Uzbekistana*. 2011, no 1, pp. 45—49. [In Russ].

14. Mataev M.M., Rakishev B.R., Kenzhetaev G.S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmataging formations during the process ofin situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017, no 5. Pp. 147—154.

15. Mataev M.M., Kenzhetaev Zh.S. Selection of effective repair-and-renewal operation methods in in-situ uranium leaching. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015, no 6, pp. 1001—1005. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ракишев Баян Ракишевич[1] — академик НАН РК, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: b.rakishev@mail.ru,
Матаев Мухаметкали Мусагалиевич[1] — д-р хим. наук, профессор, старший научный сотрудник,
Кенжетаев Жигер Смадиевич[1] — докторант,
[1] Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Для контактов: Ракишев Б.Р., e-mail: b.rakishev@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*B.R. Rakishe*v[1], Academician of National Academy of Sciences of Kazakhstan, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: b.rakishev@mail.ru,
M.M. Mataev[1], Dr. Sci. (Chem.), Professor, Senior Researcher,
Z.S. Kenzhetaev[1], Doctoral Candidate,
[1] K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 050013, Almaty, Kazakhstan.
Corresponding author: B.R. Rakishev, e-mail: b.rakishev@mail.ru.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

(№ 1192/07—19 от 27.05.2019; 9 с.)

Пичуев Александр Вадимович[1] — канд. техн. наук, доцент; *Заугольникова Е.В.*[1] — магистрант,
[1] МГИ НИТУ «МИСиС».

Выполнен анализ показателей качества электроэнергии и сравнение норм государственных стандартов. Рассмотрены способы и средства регулирования напряжения в электрических сетях, а также способы повышения качества электроэнергии. Сделан вывод о необходимости учета качества электроэнергии при оценке энергоэффективности технологических процессов производства.

Ключевые слова: показатель качества электроэнергии, нормирование качества электроэнергии, энергоэффективность, регулирование напряжения.

THE WAYS AND MEANS OF VOLTAGE REGULATION IN ELECTRIC NETWORKS

A.V. Pichuev[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor; *E.V. Zaugolnikova*[1], Master's Degree Student,
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

In the article the analysis of indicators of quality of the electric power and comparison of norms of the state standards is executed. The methods and means of voltage regulation in electrical networks, as well as ways to improve the quality of electricity. It is concluded that it is necessary to take into account the quality of electricity in the assessment of energy efficiency of technological processes of production.

Key words: quality of electric energy, regulation, power quality, energy efficiency, voltage regulation.