

СПОСОБ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ПОЧВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ УЧАСТКОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

А. М. Музафаров¹, Р. А. Кулматов², И. Ражаббоев³, О. М. Ёкубов⁴

¹ Навоийский горно-металлургический комбинат, Узбекистан;

² Национальный университет Узбекистана, Узбекистан;

³ Навоийский государственный горный институт, Узбекистан;

⁴ ГУП «Фан ва тараққиёт» при ТашГТУ им. И.Каримова

Аннотация: Технологический процесс добычи урана сопровождается загрязнением объектов окружающей среды, в частности, почвы участков подземного выщелачивания урана. Радионуклиды цепочки распада урана, такие как – U238, U234, U235, Th230, Ra226 и т.д., попадая в почву участков подземного выщелачивания урана, создают радиационную опасность, отрицательно влияющую на персонал и окружающую среду. Для предотвращения воздействия ионизирующего излучения данных радионуклидов устанавливается их количество в загрязненных почвах и удельная активность, чтобы определить методы их дезактивации, включающие в себя выбор техники, технологии и способов выщелачивания. В данной статье приведены последовательность проведения дезактивации и принцип действия новой схемы. Оценены портативность и малозатратность данной схемы. В исследуемых загрязненных почвах содержание общего урана изменилось в пределах в среднем от 0,00293 до 0,00513 %, после обработки загрязненных почв предлагаемым способом содержание урана в них уменьшилось от 0,00145 до 0,00255 %. Предлагаемый способ проведения дезактивации загрязненных почв радионуклидами цепочки распада урана считается приемлемым в условиях производства.

Ключевые слова: дезактивация, уран, принципиальная схема, подземное выщелачивание урана, концентрация кислоты, загрязненная почва, естественные радионуклиды, суммарная удельная альфа-активность, радиозкология, цепочка распада урана, удельная активность естественных радионуклидов.

Для цитирования: Музафаров А. М., Кулматов Р. А., Ражаббоев И., Ёкубов О. М. Способ дезактивации загрязненных почв участков подземного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-1. – С. 119–126. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_119.

Remediation of radionuclide-contaminated soil sampled in in-situ uranium leaching areas

А. М. Muzafarov¹, R. A. Kulmatov², I. Razhabboev³, O. M. Yokubov⁴

¹ Navoi Mining and Metallurgical Plant, Uzbekistan;

² National University of Uzbekistan, Uzbekistan;

³ Navoi State Mining Institute, Uzbekistan;

⁴ State Unitary Enterprise "Science and Development" at the Tashkent State Technical University named after I.Karimova, Uzbekistan

Abstract: Uranium production induces contamination of natural objects, in particular, soils in in-situ uranium leaching areas. Radionuclides of the uranium decay chains, such as U²³⁸, U²³⁴, U²³⁵, Th²³⁰, Ra²²⁶ etc., in soil in in-situ uranium leaching areas impose risk and hazard on mine personnel and on nature. The content of radionuclides in contaminated soil is determined in order to prevent the adverse effect of their radiation. With the known content and specific activity of radionuclides in soil, the soil remediation methods are identified, including machinery, technology and leaching techniques. This article presents the sequence of remediation and the operating principle of the new flowchart. The portability and low costs of the flowchart are demonstrated. In contaminated soil under analysis, the content of general uranium ranges from 0.00293 to 0.00513%. After treatment of contaminated soil using the proposed method, the content of uranium decreases and becomes 0.00145 to 0.00255%. The proposed method of remediation of soil contaminated with the uranium decay chain radionuclides is assumed to be suitable for the application on a large scale.

Key words: remediation, uranium, basic flowchart, in-situ uranium leaching, acid concentration, contaminated soil, natural radionuclides, total relative alpha activity, radioecology, uranium decay chain, relative activity of natural radionuclides.

For citation: Muzafarov A. M., Kulmatov R. A., Razhabboev I., Yokubov O. M. Remediation of radionuclide-contaminated soil sampled in in-situ uranium leaching areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-1):119–126. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_119.

Введение

Почвы на участках подземного выщелачивания (ПВ) урана, загрязненные такими радионуклидами, как U²³⁸, U²³⁴, U²³⁵, Th²³⁰, Ra²²⁶ и т. д., дезактивируются на основе требований Международных и Республиканских нормативных документов. Для проведения дезактивации загрязненных почв применяют различные техники, технологии и методы. В классическом варианте применение техники дезактивации загрязненных почв радионуклидами проводится методом снятия загрязненного слоя почвы механизированным способом. Снятый слой загружается в специальный транспорт и вывозится на разрешенные полигоны или на хвостохранилища производственных отходов.

Из методов дезактивации более приемлемым является физико-химический метод дезактивации (рекультивация), предусматривающий сочетание физического метода и в последующем применение химического метода с исполь-

зованием различных видов химических реагентов. В основе большинства существующих физико-химических методов реабилитации почв лежат методы очистки почвы от радионуклидов с её дальнейшей обработкой химическими реагентами [1 – 6].

На основании вышесказанного можно утверждать, что изучение возможности применения новой принципиальной схемы дезактивации участков ПВ урана является актуальной задачей аналитической химии, радиационной химии и радиоэкологии [7 – 12].

Цель данного исследования состоит в детальном изучении возможности применения новой принципиальной схемы (рис. 1) дезактивации участков ПВ урана.

Для достижения цели создана установка с новой принципиальной схемой, и на этой установке проведена дезактивация почв участков ПВ урана. В процессе исследований определено содержание различных радионуклидов $\frac{3}{4}$ U²³⁸, U²³⁴, U²³⁵, Th²³⁰, Ra²²⁶ – и про-

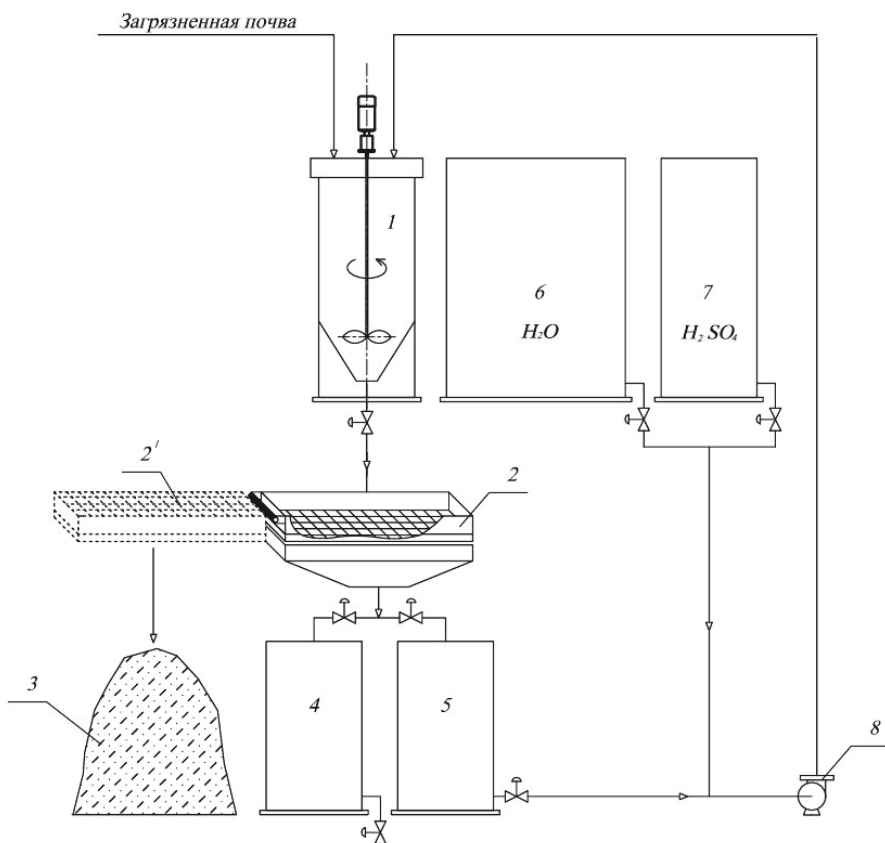


Рис. 1. Принципиальная схема проведения дезактивации почв участков ПВ урана, загрязненных радионуклидами: 1 — реактор с электродвигателем; 2 — фильтр с собирательным дном, 2' — фильтр с собирательным дном в перевернутом виде; 3 — очищенная почва от радионуклидов; 4 — сборник насыщенной ураном соли серной кислоты; 5 — емкость приготовления раствора; 6 — емкость воды; 7 — емкость серной кислоты; 8 — насос

Fig. 1. Schematic diagram of the decontamination of the soils of the areas of uranium PV contaminated with radionuclides: 1 — a reactor with an electric motor; 2 — a filter with a collecting bottom; 2' — a filter with a collecting bottom in an inverted form; 3 — a purified soil from radionuclides; 4 — a collection of uranium-saturated sulfuric acid salt; 5 — a solution preparation tank; 6 — a water tank; 7 — a sulfuric acid tank, 8 — a pump

анализировано их поведение в различных режимах выщелачивания урана.

Схема установки и принцип ее действия. Процесс дезактивации включает в себя приведение нарушенных земель в исходное состояние; выявление локальных участков, загрязненных радионуклидами и химическими реагентами; вывоз данных загрязненных почв на разрешенные полигоны и на хвостохранилища производствен-

ных отходов; покрытие данных участков плодоносящим грунтом.

Принцип действий данной схемы происходит в следующей последовательности: в емкость приготовления раствора 5 с помощью насоса 8 из емкости воды 6 и емкости серной кислоты 7 подаются вода и серная кислота для приготовления раствора H_2SO_4 , концентрацией 10 г/л. Далее, в реактор 1 подаются почва, загрязнен-

ная радионуклидами, и раствор серной кислоты, концентрацией 10 г/л, при соотношении Т:Ж = 1:3. Приготовленная таким образом пульпа перемешивается в реакторе в течение 1 часа и далее направляется на фильтр с собирательным днищем 2. Полученный фильтрат отправляется в сборник насыщенной ураном соли серноокислой 4, а отфильтрованный кек направляется в реактор 1 для промывки его водой при Т:Ж = 1:3 в течение 1 часа. Полученный после промывки и фильтрации кек возвращают на место снятия поверхностного слоя загрязненной почвы, а промывку направляют в емкость приготовления раствора 5 для приготовления новой порции раствора для выщелачивания следующей порции исходной, загрязненной радионуклидами почвы.

Вторая и последующие партии загрязненных радионуклидами почв дезактивируются в такой же последовательности. Насыщенный радионуклидами и имеющий высокую кислотность (рН) фильтрат из сборника насыщенной ураном соли серноокислой 4 направляется для дальнейшей переработки на участки переработки продуктивного раствора (УППР).

Предлагаемый новый способ дезактивации при небольших капитальных затратах представляет возможность дополнительно получить в определенном количестве металл и очистить загрязнённые почвы от радионуклидов (U^{238} , U^{234} , U^{235} , Th^{230} , Ra^{226} и т.д.).

Техника и методы эксперимента

Для анализа отобранных твердых проб использовали рентгеноспектральный метод анализа и рентгенофлуоресцентный анализатор АРФ-7, позволяющий количественно определить химические элементы в диапазоне

от Мп до U в твердых и порошковых пробах при содержаниях от 0,00015% (1,5 г/т). Из загрязненных радионуклидами и химическими реагентами почв были отобраны пробы массой по 1 кг и в лабораторных условиях приготовлены к анализу. Пробоподготовка включала в себя: сушку в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 1 часа с дальнейшим истиранием на лабораторном истирателе марки ИДА-250 до 100% по фракции минус 0,074 мм.

Из истертых проб отбирали по три параллельных навески (весом по 15 г каждая), каждую навеску помещали в кювету, устанавливали в измерительную ячейку рентгенофлуоресцентного анализатора АРФ-7 и анализировали на содержание урана. Аналогично проводили пробоподготовку и анализ проб после выщелачивания по схеме, приведенной на рис. 1.

Полученные результаты по определению общего урана в исходных пробах и в пробах после выщелачивания приведены в табл. 1.

Как видно из результатов, приведенных в табл. 1, количество общего урана в загрязненных почвах колеблется в пределах в среднем от 0,00293 до 0,00513 %. После обработки этот предел изменяется от 0,00145 до 0,00255 %. Количество урана во всех отработанных пробах уменьшается в два раза. Дезактивированная почва считается очищенной от радионуклидов и соответствуют нормам, установленным в СанПиН №0193 — 06.

Определение химического состава почвы (исходной, загрязненной радионуклидами и после выщелачивания) было выполнено полуколичественным рентгенофлуоресцентным методом. Полученные результаты полуколичественного анализа некоторых химических элементов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты по определению общего урана в исходных пробах и в пробах после выщелачивания в трех параллельных навесках

Results on the determination of total uranium in the initial samples and in the samples after leaching in three parallel samples

№ проб	U _{исх.пр.} %	U _{ср.исх.пр.} %	U _{посл.выщел.} %	U _{ср.посл.выщел.} %
1	0,00371	0,00370	0,00181	0,00184
	0,00369		0,00187	
	0,00370		0,00183	
2	0,00432	0,00432	0,00212	0,00213
	0,00435		0,00210	
	0,00430		0,00218	
3	0,00329	0,00332	0,00162	0,00166
	0,00337		0,00168	
	0,00331		0,00167	
4	0,00289	0,00293	0,00146	0,00145
	0,00294		0,00148	
	0,00295		0,00140	
5	0,00423	0,00421	0,00211	0,00212
	0,00411		0,00214	
	0,00429		0,00210	
6	0,00512	0,00513	0,00258	0,00255
	0,00509		0,00251	
	0,00518		0,00257	

Таблица 2

Результаты полуколичественного анализа некоторых химических элементов в почве (исходной, загрязненной радионуклидами и после выщелачивания)

Results of semi-quantitative analysis of some chemical elements in the soil (initial, contaminated with radionuclides and after leaching)

Элементы	Концентрация в исходных пробах, %			Концентрация после обработки, %		
	1	2	3	1	2	3
Al	3,4	3,2	3,0	2,0	2,0	1,8
Fe	2,3	2,6	2,8	1,6	1,8	1,6
Ti	0,31	0,28	0,29	0,13	0,11	0,14
Ca	0,98	0,81	0,92	0,64	0,61	0,58
S	0,65	0,58	0,71	0,40	0,38	0,43
K	2,3	2,1	2,4	2,4	2,3	2,1
Mn	0,042	0,047	0,040	0,044	0,045	0,042
Sr	0,014	0,018	0,013	0,012	0,014	0,011
Zn	0,013	0,019	0,014	—	—	—
V	0,012	0,016	0,013	—	—	—
Cr	0,012	0,021	0,018	—	—	—
SiO ₂	73,2	74,1	70,9	68,8	69,4	69,1

Закключение

Как видно из полученных результатов, приведенных в табл. 2, содержание химических элементов Al, Fe, Ti, Ca и S после выщелачивания уменьшается в два раза по сравнению с их содержанием в исходных пробах; содержание химических элементов K, Mn, Sr до и после выщелачивания не изменяется; содержание SiO₂ изменяется в незначительной степени.

Таким образом, на основании проведенных исследований является оптимальным предлагаемый новый

способ дезактивации загрязненных радионуклидами почв. Предложенный вариант дезактивации участков ПВ урана загрязненных радионуклидами почв соответствует всем установленным нормам и требованиям Международных и Республиканских норм.

Данный способ проведения дезактивации позволяет дополнительно получить определенное количество урана и рационально использовать природные ресурсы Кызылкумского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mujaini M., Chankow N., Yusoff M. Z., Hamid N. A.* Characterization of uranium bearing material using x-ray fluorescence and direct gamma-rays measurement techniques / Cite as: AIP Conference Proceedings 2016. Pp. 16–19.
2. *Hanna Tuovinen, Daniela Vesterbacka, Esa Pohjolainen, David Read, Dina Solatie.* A comparison of analytical methods for determining uranium and thorium in ores and mill tailings // Journal of Geochemical Exploration. Vol. 148, January 2015. Pp. 174–180.
3. *Nuno Cruz, Sónia Morais Rodrigues.* Soil Contamination and Remediation// In book: Life on Land. January 2021. Pp. 916–928.
4. *Adham Masour, Laila A. Guirguis.* Comparison of Different Methods for Uranium Determination in Uranium-Bearing Ores// December 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.3601.6722.
5. *Gromov Nikolai, Stepanov Alexey, Simirskii Iu.N., Semin Iliia.* Determination method of the uranium and plutonium radionuclides in soil / Conference: International scientific and practical conference «Environmental, Industrial and Energy Security – 2018» At: 24–27 september, 2018. Pp. 319–321.
6. *Мирошниченко И. В., Москвин Л. Н., Пыхтеев О. Ю., Костин М. М., Маркизов М. С.* Методика проточного определения урана в технологических водных средах ЯЭУ // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия. – 2012. – №2. – С. 96–100.
7. *Бекман И. В.* Радиоактивность, радионуклиды и радиация: монография. – «PALMARIUM», Москва, 2014. – 498 с.
8. *Миннихметов, И. С.* Дезактивация карьерных выработок и отвалов / Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа, 2015. С. 146–148.
9. *Черноруков Н. Г., Нипрук О. В.* Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа // Электронное учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 57 с.
10. *Аллаберганова Г. М., Туробжонов С. М., Музафаров А. М.* Анализ химического и радионуклидного состава производственных стоков уранового производства // Горный вестник Узбекистана №4. – Навои. 2019. – С. 108–109.
11. *Аллаберганова Г. М., Музафаров А. М.* Мониторинг и оценка мощности эффективной дозы в техногенных объектах урановых производств // Горный вестник Узбекистана №2. – Навои. 2019. – С. 105–107.

12. Музафаров А. М., Аллаберганова Г. М., Черчиева Е. О., Саттаров Г. С. Возможности применения инструментальных приборов для решения технологических и радиоэкологических задач урановых производств / Ядерная и радиационная физика. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Алматы. 2013. – С.182 – 183. **ИТАБ**

REFERENCES

1. Mujaini M., Chankow N., Yusoff M. Z., Hamid N. A. Characterization of uranium bearing material using x-ray fluorescence and direct gamma-rays measurement techniques Cite as: AIP Conference Proceedings 2016. Pp. 16 – 19.
2. Hanna Tuovinen, Daniela Vesterbacka, Esa Pohjolainen, David Read, Dina Solatie. A comparison of analytical methods for determining uranium and thorium in ores and mill tailings. Journal of Geochemical Exploration. Vol. 148, January 2015. Pp. 174 – 180.
3. Nuno Cruz, Sónia Morais Rodrigues. Soil Contamination and Remediation// In book: Life on Land. January 2021. Pp. 916 – 928.
4. Adham Masour, Laila A. Guirguis. Comparison of Different Methods for Uranium Determination in Uranium-Bearing Ores. December 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.3601.6722.
5. Gromov Nikolai, Stepanov Alexey, Simirskii Iu.N., Semin Ilia. Determination method of the uranium and plutonium radionuclides in soil. Conference: International scientific and practical conference «Environmental, Industrial and Energy Security – 2018» At: 24 – 27 september, 2018. Pp. 319 – 321.
6. Miroshnichenko I. V., Moskvina L. N., Pykhteev O. Yu., Kostin M. M., Marquis, M. S. the Method of flow determination of uranium in aqueous media technology nuclear reactor. *Vestnik of saint Petersburg university Physics and Chemistry*. 2012, no 2, Pp. 96 – 100. [In Russ].
7. Beckman I. V. Radioaktivnost', radionuklidy i radiatsiya: monografiya [Radioactivity, radionuclides and radiation: monograph]. "PALMARIUM", Moscow, 2014. 498 p. [In Russ].
8. Minniakhmetov I. S. *Reclamation of quarry workings and dumps. Sostoyaniye i perspektivy uvelicheniya proizvodstva vysokokachestvennoy produktsii sel'skogo khozyaystva*. [State and prospects for increasing the production of high-quality agricultural products]. Materials of the V All-Russian scientific and practical conference. Ufa, 2015, Pp. 146 – 148. [In Russ].
9. Chernorukov N. G., Nipruk O. V. *Teoriya i praktika rentgenofluorestantsnogo analiza: Elektronnoye uchebno-metodicheskoye posobiye* [Theory and practice of X-ray fluorescence analysis: Electronic teaching aid]. Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, 2012. 57 p. [In Russ].
10. Allaberganov G. M., Tarabanov S. M. Muzafarov A. M. Analysis of the chemical and radionuclide composition of industrial effluents from uranium production. *Gorniy vestnik Uzbekistan*. 2019, no 4, Pp. 108 – 109. [In Russ].
11. Allaberganova G. M., Muzafarov A. M. Monitoring and evaluation of the effective dose rate in technogenic objects of uranium production. *Gorniy vestnik Uzbekistan*. 2019, no 2, Pp. 105 – 107. [In Russ].
12. Muzafarov A. M., Allaberganova G. M., Cherkhieva E. O., Sattarov G. S. *Possibilities of using instrumental devices for solving technological and radioecological problems of uranium production. Yadernaya i radiatsionnaya fizika*. [Nuclear and Radiation Physics]. Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference. Almaty, 2013, Pp. 182 – 183. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Музафаров Амрулло Мустафаевич – канд. техн. наук, доцент, главный инженер ЦНИЛ (Центральная научно-исследовательская лаборатория), НГМК;

Кулматов Рашид Анорович – докт. хим. наук, профессор Национального университета Узбекистана;

Ражаббоев Ибодулло – старший преподаватель кафедры «Металлургия» НГГИ;

Ёкубов Ойбек Махмуджанович – младший научный сотрудник ГУП «Фан ва тараққиёт» при ТашГТУ им. И.Каримова;

Для контактов: Muzafarov A. M., e-mail: u.sharafutdinov@ngmk.uz.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Muzafarov A. M., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief Engineer of the Central Scientific Research Laboratory, NMMC;

Kulmatov R. A., Professor, Dr. Sci. (Eng.), National University of Uzbekistan;

Rajabboev I., Senior Lecturer of the Department of Metallurgy, Navoi State Mining Institute;

Yokubov O. M., Junior Researcher of the State Unitary Enterprise “Fan va taragiyot” at the Tashkent State Technical University named after I. Karimov.

Corresponding author: A. M. Muzafarov, e-mail: u.sharafutdinov@ngmk.uz

Получена редакцией 13.10.2020; получена после рецензии 03.02.2021; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 13.10.2020; received after the review 03.02.2021; accepted for printing 10.02.2021.

