

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ВБЛИЗИ УРАНОВЫХ РАЗРАБОТОК

Д.А. Зарединов¹, О.Л. Тен¹, Р.И. Радюк², У.С. Салихбаев², Ф.Р. Усманов¹, А.И. Болтаева¹

¹Ташкентский институт усовершенствования врачей, Министерство здравоохранения Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

²Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Показано, что из каменистой породы рудников уранового производства могут выщелачиваться радионуклиды атмосферными осадками. В кислотной среде степень выщелачивания больше. Целью настоящего исследования явилось изучение распространения радионуклидов урановых разработок и степень их влияния на загрязнение окружающей среды. Материалы и методы. Исследования проводились в два этапа. На первом этапе горная порода из отвала заливалась дистиллированной водой в пропорции: 0,3 кг щебня и 1 л воды. После тридцатидневной выдержки вода была отправлена на гамма-спектрометрический анализ на спектрометр фирмы Canberra (США) с детектором из сверхчистого германия. Анализ спектров проводился с использованием программы Genie-2000. На втором этапе был проведен аналогичный опыт с водой, подкисленной до pH=3. Определена степень загрязненности территории радионуклидами вблизи шахты подземного выщелачивания. При оценке рисков и возможного потребления воды населением были использованы уровни вмешательства и произведен расчет с учетом совместного присутствия в воде нескольких радионуклидов. Результаты проведенных исследований показали, что распространение радионуклидов от источника загрязнения за 30 лет около 360 м. Ручей, вдоль которого отбирались пробы почвы и велись исследования, сформирован рудничными водами, которые по небольшому распаду текут в сторону поселка, тем самым увеличивая вероятность использования воды населением. Заключение. Рудники урановых разработок являются источником радиоактивного загрязнения окружающей среды; радионуклиды не только распространяются из-за эрозии породы, но и выщелачиваются из каменистой породы атмосферными осадками. Степень выщелачивания значительно увеличивается в кислой среде, что имеет место вблизи шахт подземного выщелачивания.

Ключевые слова: радионуклиды, урановые разработки, активность, спектральный анализ, подземное выщелачивание, шахта, окружающая среда, радиоактивные отходы

Введение

Проблема отходов урановой промышленности является актуальной для всех стран Центральной Азии [1]. В этой связи на протяжении ряда последних лет были предприняты совместные усилия специалистов нескольких стран по проведению радиоэкологического мониторинга вдоль основных рек и их притоков в Центральной Азии [2]. При этом было обнаружено, что загрязнение радионуклидами почвы и донных отложений может наблюдаться на расстоянии до 100 км от мест урановых разработок. Отмечалось, что уровень загрязнения может циклически изменяться со временем, иногда синхронно с сезонами [3, 4]. Так, например, уровень активности радионуклида ²¹⁴Pb в донных отложениях вблизи рудника осенью был в два раза выше, чем весной, при этом в почве изменения активности этого же радионуклида отмечается гораздо больше (до восьми раз), но без сезонных корреляций.

По нашему мнению, распространение радионуклидов может быть вызвано эрозией почвы и её размыванием сточными водами. Однако вполне возможно выщелачивание радионуклидов водой из каменистых горных пород. Для изучения этого обстоятельства была проведена серия экспериментов с каменистой породой из отвала уранового рудника. Кроме того, было исследовано распространение радионуклидов вблизи шахты, где проводилось подземное выщелачивание.

Цель исследования – изучение распространения радионуклидов урановых разработок и степень их влияния на загрязнение окружающей среды.

Материалы и методы

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе раздробленная горная порода из отвала заливалась дистиллированной водой в пропорции: 0,3 кг щеб-

Зарединов Дамир Арифович

Ташкентский институт усовершенствования врачей

Адрес для переписки: 100007, Узбекистан, Ташкент, Мирзо-Улугбекский район, ул. Паркентская, д. 51. E-mail: zda_medic@mail.ru

ня и 1 л воды. После тридцатидневной выдержки вода была отправлена на гамма-спектрометрический анализ на спектрометре фирмы Canberra (США) с детектором из сверхчистого германия. Анализ спектров проводился с использованием программы Genie-2000 [5]. В воде обнаружено пять радионуклидов: ^{235}U , ^{234}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{214}Pb и ^{214}Bi . Поведение активностей со временем было различным: активность ^{235}U оставалась неизменной, активности ^{234}Th и $^{234\text{m}}\text{Pa}$ увеличивались, активности ^{214}Pb и ^{214}Bi резко уменьшались (рис. 1).

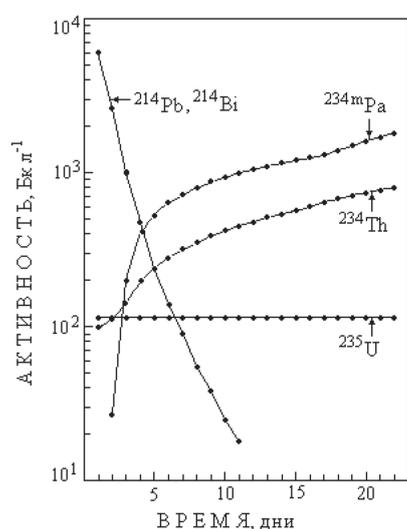


Рис. 1. Зависимость активностей радионуклидов от времени
[Fig. 1. Time dependence of the radionuclides activities]

Длительное наблюдение за поведением активностей и характер их изменений позволили заключить, что дистиллированной водой из каменистой породы выщелачивались U, Pb и Bi. Следов ^{226}Ra в воде не обнаружено. Поведение ^{214}Pb и ^{214}Bi , на наш взгляд, обусловлено наличием в почве материнского радионуклида ^{226}Ra и его продукта ^{222}Rn , они в случае нейтрального pH в водную вытяжку не выщелачиваются. В естественных условиях, когда порода длительное время подвергается атмосферным осадкам, радионуклиды могут попадать в почву и вместе со стоками в реки. Поэтому, учитывая региональный характер поведения изотопов, была крайняя необходимость проведения второго этапа исследований.

На втором этапе был проведен аналогичный опыт с водой, подкисленной до pH=3. В этом случае в воде было обнаружено гораздо больше радионуклидов (табл. 1). Это означает, что вблизи урановых разработок методом подземного выщелачивания кислотой спектр выделяемых радионуклидов должен быть более широким.

На следующем этапе были отобраны пробы почвы вдоль ручья с истоком вблизи шахты подземного выщелачивания. Первая точка отбора находилась в ~300 м от шахты, а остальные девять точек отбора находились через каждые 30 м. Гамма-спектральный анализ проб показал наличие в них радионуклидов всех трех радиоактивных рядов. Активность обнаруженных радионуклидов в каждой точке отбора представлена в таблице 2.

При оценке рисков и возможного потребления воды населением были использованы уровни вмешательства и произведен расчет с учетом совместного присутствия в воде нескольких радионуклидов.

Выщелачивание радионуклидов в кислотной среде из каменистой породы

Таблица 1

Leaching of radionuclides from the rocks in an acid environment

[Table 1

Нуклид [Radionuclide]	Энергия, кэВ [Energy, keV]	Выход, % [Yield, %]	Объемная активность, Бк·л ⁻¹ [Volume activity, Bq l ⁻¹]
^{40}K	1460,8	10,7	560 ± 101
^{234}Th	63,4	3,9	46000 ± 8280
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1001,0	0,6	48000 ± 8648
^{226}Ra	186,2	3,3	51000 ± 9180
^{214}Bi	609,3	46,3	5200 ± 936
	1120,3	15,1	6000 ± 1080
^{214}Pb	295,2	19,2	5400 ± 972
	351,9	37,2	5300 ± 954
^{210}Pb	46,8	4,1	11100 ± 1998
^{235}U	143,8	10,5	2700 ± 486
	185,7	54,0	3100 ± 558
^{227}Th	236,0	11,2	1600 ± 288
	256,3	6,8	1400 ± 252
^{223}Ra	269,4	13,6	1400 ± 252
^{219}Rn	271,2	9,9	1400 ± 252,0
^{211}Bi	351,1	12,2	780 ± 141
^{211}Pb	404,7	3,0	720 ± 130

Таблица 2

Радионуклидное загрязнение почвы в точках отбора, Бк•кг⁻¹.

[Table 2]

Soil contamination with radionuclides in the sampling points, Bq•kg⁻¹

Точки/[Points] Нукл./ [Radionuclides]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
²³⁴ Th	2850 ± 513	3700 ± 666	130 ± 23	77 ± 14	53 ± 10	51 ± 9	44 ± 8	54 ± 10	57 ± 10	59 ± 11
²³⁴ mPa	7300 ± 1314	8100 ± 1458	330 ± 60	220 ± 40	190 ± 34	–	–	–	–	130 ± 23
²²⁶ Ra	26000 ± 4680	15500 ± 2790	1700 ± 306	170 ± 31	170 ± 31	120 ± 22	200 ± 36	120 ± 22	170 ± 31	170 ± 31
²¹⁴ Pb	4060 ± 731	6400 ± 1152	510 ± 92	98 ± 18	100 ± 18	79 ± 14	85 ± 16	89 ± 16	90 ± 16	120 ± 22
²¹⁴ Bi	3400 ± 612	5400 ± 972	440 ± 79,2	81 ± 15	86 ± 16	66 ± 12	7 ± 1	75 ± 14	78 ± 14,1	106 ± 19
²¹⁰ Pb	5600 ± 1008	5600 ± 1008	120 ± 22	170 ± 31	140 ± 25	–	130 ± 24	114 ± 21	110 ± 20	140 ± 25
²²⁶ Ac	590 ± 106	280 ± 50,4	150 ± 27	130 ± 23	104 ± 19	130 ± 23	130 ± 24	110 ± 20	140 ± 25	92 ± 17
²²⁴ Ra	600 ± 108	430 ± 77	150 ± 27	150 ± 27	130 ± 23	160 ± 29	160 ± 29	130 ± 24	170 ± 31	99 ± 18
²¹² Pb	390 ± 70,2	340 ± 61	130 ± 23	140 ± 25	110 ± 20	140 ± 25	140 ± 25	110 ± 20	150 ± 27	92 ± 17
²¹² Bi	400 ± 72	330 ± 59	130 ± 23	130 ± 23	110 ± 20	120 ± 22	140 ± 25	110 ± 20	140 ± 25	95 ± 17
²⁰⁶ Tl	120 ± 21,6	100 ± 18	39 ± 7	42 ± 8	34 ± 6	40 ± 7	44 ± 8	35 ± 7	43 ± 8	29 ± 5
²³⁵ U	240 ± 43,2	320 ± 57	11 ± 2	4,8 ± 1	4,5 ± 1	4,3 ± 1	–	5,4 ± 1	7,4 ± 2	6,1 ± 1
²²⁷ Th	450 ± 81	900 ± 162	16 ± 3	5,2 ± 1	8,7 ± 2	–	–	–	–	5,5 ± 1
²²³ Ra	500 ± 90	850 ± 153	–	–	–	–	–	–	–	–
²¹⁹ Rn	500 ± 90	870 ± 157	–	–	–	–	–	–	–	–
²¹¹ Pb	200 ± 36	600 ± 108	20 ± 4	–	–	–	–	–	–	–
²¹¹ Bi	420 ± 75,6	500 ± 90	20 ± 4	–	–	–	–	–	–	–
⁴⁰ K	970 ± 174,6	1060 ± 191	1160 ± 209	980 ± 176	810 ± 146	1030 ± 186	100 ± 18	1120 ± 202	1130 ± 204	1160 ± 208,8
A ^{эфф}	27000 ± 4860	16000 ± 2880	2000 ± 360	430 ± 77	380 ± 68	380 ± 68	460 ± 83	360 ± 65	410 ± 74	400 ± 72

Для количественной оценки загрязненности почвы выбрали эффективную активность, включающую активности ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,09 A_K$$

Эффективная активность максимальна в первой точке отбора и составляет 27 000 ± 4860 Бк•кг⁻¹. Во второй точке отбора активность спадает до 16 000 ± 2880 Бк•кг⁻¹. Затем общая загрязненность быстро уменьшается и уже в четвертой точке отбора достигает уровня 380 ± 68 Бк•кг⁻¹. Далее активности практически не изменяются. Наглядное поведение эффективной активности представлено на рисунке 2 вместе с нормативными уровнями загрязненности почвы.

Технологический процесс в исследуемом месте закончился в середине 1980-х гг. [6, 7]. Следовательно, за 30 лет активность распространилась на ~360 м. Большой частью данное обстоятельство, на наш взгляд, объясняется тем, что ранее добыча на участке велась открытым способом, и сезонной маловодностью ручья. Но поскольку ручей, вдоль которого отбирались пробы почвы и велись исследования, всё же сформирован рудничными водами, которые по небольшому распадку текут в сторону поселка, увеличивается вероятность использования воды населением.

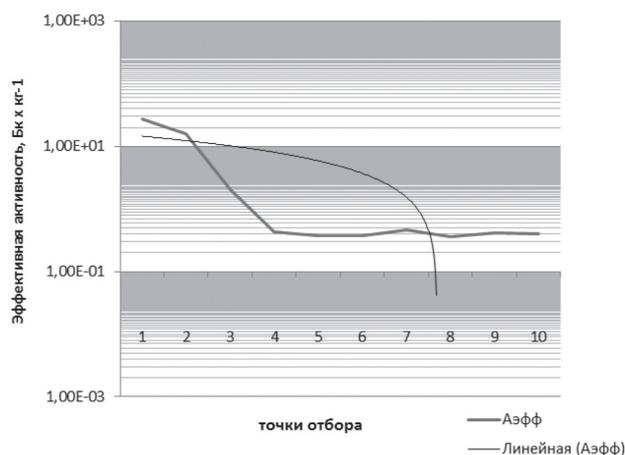


Рис. 2. Уровень загрязнения почвы [Fig. 2. Level of soil contamination]

Заклучение

Рудники урановых разработок являются источником радиоактивного загрязнения окружающей среды. Радионуклиды не только распространяются из-за эрозии породы, но и выщелачиваются из каменистой породы атмосферными осадками. Степень выщелачивания значительно увеличивается в кислой среде, что имеет место вблизи шахт подземного выщелачивания.

Литература

1. Умаров, Н.М. Узбекистан на пути к устойчивому развитию: Национальное сообщение / отв. за вып. Н.М. Умаров; Государственный комитет Республики Узбекистан по охране природы. – 2012. – 75 с.
2. Yuldashev B. S., Passell H. D., Salikhbaev U. S., Radyuk R. I. Et al. Study of transboundary contamination of them Syr-Darya and Amu-Darya rivers and their inflows. Nuclear Risk in Central Asia. Ed.: Brit Salbu, Lindis Skipperud. Springer, Netherland, 2008, pp.181-189.
3. Passell H.D., Solodukhin V., Radyuk R.I. Et al. The Navruz project: cooperative, transboundary monitoring, data sharing and modelling of water resources in Central Asia. Nuclear Risk in Central Asia. Ed.: Brit Salbu, Lindis Skipperud. Springer, Netherland, 2008, pp. 191-199.
4. Бахвалов, Л.А. Разработка моделей и алгоритмов имитационного моделирования распространения радионуклидов в реках эльконского урановорудного района / Л.А. Бахвалов, А.М. Могирев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – Т. 5, № 12. – С. 168–174.
5. Radiation Safety. Amplified. Genie™ 2000 Basic Spectroscopy Software – Available from: http://www.canberra.com/products/radiochemistry_lab/pdf/G2K-BasicSpect-SS-C40220.pdf (Дата обращения: 15.08.2016)
6. Тен, О.Л. Радиоэкологическая характеристика объектов размещения радиоактивных отходов уранового производства и рекомендации по ее улучшению / О.Л. Тен // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 132–134.
7. IAEA – (IAEA RS-G-1.7). International cooperation on rehabilitation, IAEA, VIENNA, 2013. – Available from: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1174_prn.pdf. (Дата обращения: 15.08.2016)

Поступила: 30.09.2016 г.

Зарединов Дамир Арифович – доктор медицинских наук, профессор, главный радиолог Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, заведующий кафедрой гигиены Ташкентского института усовершенствования врачей Министерства здравоохранения Республики Узбекистан. **Адрес для переписки:** 100007, Узбекистан, Ташкент, Мирзо-Улугбекский район, ул. Паркентская, 51; e-mail: zda_medic@mail.ru

Тен Оксана Лемовна – магистр, старший научный сотрудник-соискатель кафедры гигиены, руководитель научно-исследовательской испытательной радиологической лаборатории Ташкентского института усовершенствования врачей Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Радюк Раиса Ивановна – кандидат физико-математических наук, начальник службы радиационной безопасности Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (1997–2016), Ташкент, Узбекистан

Салихбаев Умар Сагитович – доктор физико-математических наук, директор Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (2002–2016), Ташкент, Узбекистан

Усманов Фазлиддин Рузимуродович – начальник Навоийского областного управления здравоохранения Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, Навоий, Навоийская обл., Узбекистан

Болтаева Альфира Идрисовна – старший научный сотрудник-соискатель кафедры гигиены Ташкентского института усовершенствования врачей Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Для цитирования: Зарединов Д.А., Тен О.Л., Радюк Р.И., Салихбаев У.С., Усманов Ф.Р., Болтаева А.И. Распространение радионуклидов вблизи урановых разработок // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 37–42. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-37-42

RADIONUCLIDES DISTRIBUTION NEAR FORMER URANIUM MINING

Damir A. Zaredinov¹, Oksana L. Ten¹, Raisa I. Radyuk², Umar S. Salikhbaev², Fazliddin R. Usmanov¹, Alfira I. Boltaeva¹

¹Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

²Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract

The paper shows, that radionuclides from the stony rocks of uranium mines can be leached by atmospheric precipitations. In acid conditions, a degree of leaching is greater. Goal. The aim of this investigation was to study the distribution of radionuclides in uranium minings and their impact on the environmental contamination. Materials and methods. The study was carried out in two stages. In the first stage, a blade of rock was mixed with distilled water in proportions of 0,3 kg of gravel and 1 liter of water. After thirty days of soaking, water was sent to the gamma-spectrometric analysis to Canberra's spectrometer (USA) with a high-purity germanium detector. In the second stage, we carried out the similar experiment with water, which was acidified to pH = 3. Contamination levels of areas near the in-situ leaching mine were determined. Intervention levels were used to estimate risk and possible water consumption by the population. Estimations were carried out taking into account the combined presence of several radionuclides in the water. Results. The results of these studies have shown that the distribution of radionuclides from the source of the contamination is about 360 meters during the 30 y period. The stream, along which samples of soil were collected and studied, was formed by the miner waters that flow along small ruts towards a village, thereby increasing the likelihood of water use by the public. Conclusions. The uranium mines are the source of radioactive contamination. Radionuclides are distributed due to the erosion of rocks and leached out of the stony rock by precipitations. The extent of leaching is significantly increased in an acidic environment, which takes place near the in-situ leaching mines.

Key words: radionuclides, uranium mining, activity, spectral analysis, in-situ leaching, mine, environment, radioactive waste.

References

1. Umarov N.M. Uzbekistan on the way to the sustainable development: National report. State Committee for Nature protection of the Republic of Uzbekistan. 2012, 75 p. (In Russ)
2. Yuldashev B.S., Passell H.D., Salikhbaev U.S., Radyuk R.I. Et al. Study of transboundary contamination of them Syr-Darya and Amu-Darya rivers and their inflows. Nuclear Risk in Central Asia. Ed.: Brit Salbu, Lindis Skipperud. Springer, Netherland, 2008, pp. 181-189.
3. Passell H.D., Solodukhin V., Radyuk R.I. Et al. The Navruz project: cooperative, transboundary monitoring, data sharing and modelling of water resources in Central Asia. Nuclear Risk in Central Asia. Ed.: Brit Salbu, Lindis Skipperud. Springer, Netherland, 2008, pp. 191-199.
4. Bakhvalov L.A., Mogirev A.M. Development of Models and algorithms of imitation simulation of radionuclides distribution in rivers of Elcon uranium ores area. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal), 2010, Vol. 5, №12, pp. 168-174. (In Russ)
5. Radiation Safety. Amplified. Genie™ 2000 Basic Spectroscopy Software – Available from: http://www.canberra.com/products/radiochemistry_lab/pdf/G2K-BasicSpect-SS-C40220.pdf (Accessed: August 15, 2016)
6. Ten O.L. The radioecological characteristic of the radioactive waste disposal sites of uranium production and recommendations for their improvement. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, № 2, pp. 132-134. (In Russ)
7. IAEA – (IAEA RS-G-1.7). International cooperation on rehabilitation, IAEA, VIENNA, 2013. – Available from: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1174_prn.pdf. (Accessed: August 15, 2016)

Received: September 30, 2016

For correspondence: Damir A. Zaredinov – Doctor of Medical Science, Professor, Chief Radiologist of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Head, Hygiene department, Tashkent Institute Of Postgraduate Medical Education, Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan (Parkentskaya St., 51, Tashkent, Mirzo-Ulugbekskiy rayon, 100007, Uzbekistan; E-mail: zda_medic@mail.ru)

Damir A. Zaredinov

Tashkent Institute Of Postgraduate Medical Education

Address for correspondence: Parkentskaya St., 51, Tashkent, Mirzo-Ulugbekskiy rayon, 100007, Uzbekistan; E-mail: zda_medic@mail.ru

Oksana L. Ten – Magister, Senior Scientific Researcher – external student, Hygiene Department, Head, Scientific Research Testing Radiological Laboratory, Tashkent Institute Of Postgraduate Medical Education, Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Raisa I. Radyuk – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief, Radiation Safety Service, Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Umar S. Salikhbaev – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director, Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Fazliddin R. Usmanov – Chief, Navoijsk Regional Health department, the Republic of Uzbekistan, Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan Navoiy, Navoiyskaya obl., Uzbekistan

Alfira I. Boltaeva – Senior Scientific Researcher – external student, Hygiene Department, Tashkent Institute Of Postgraduate Medical Education, the Republic of Uzbekistan, Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

For citation: Zaredinov D.A., Ten O.L., Radyuk R.I., Salikhbaev U.S., Usmanov F.R., Boltaeva A.I. Radionuclides distribution near former uranium mining. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol.9, No 4, pp. 37–42. (In Russ.) DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-37-42