

**УДК 504.06; 621.039.8.**

ТОГАЕВ Б.С., докторант (СамГУ), КУВВАТОВА М.А., ассистент (НГГТУ),  
АСАДОВА Г.А., ассистент (НГГТУ), ХАЙДАРОВ У.Э., докторант (СамГУ)  
МИНГБОЕВ Х.С., заместитель начальника лаборатории (АО НГМК),  
САЛИМОВ Ш.Г., начальник лаборатории по решению проблемы  
водообеспечение (НГМК), АЛЛАБЕРГАНОВА Г.М., PhD х.н., доцент (НГГТУ),  
МУЗАФАРОВ А.М., д.х.н., профессор (НГГТУ).

### **РАДИАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА МЕСТАХ ХРАНЕНИЯ УРАНОВЫХ КЕРНОВ**

Урановые керны всегда находятся рядом с персоналом, занятым производством урана. Данный продукт перевозится из участков отбора в аналитические лаборатории, где определяются радионуклидные цепочки распада естественного урана. Содержание данных радионуклидов создает эффективную дозу. Эффективные дозы определяют радиационную обстановку в локальной точке, где находятся урановые керны. На основании полученных данных были определены коэффициенты радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  в пробах урановых кернов. Кроме того, исследована радиационная обстановка на местах их хранения, имеющая взаимосвязи со значениями коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ . Полученные результаты сравнены с нормированными данными, установленными в международных (МКРЗ, МАГАТЭ, ООН, ВОЗ и т.д.) и республиканских (СанПиН, О'zDst, ГОСТы и т.д.) документах [1-2].

В процессе геологической разведки урановых залежей в определенном количестве добываются урановые керны, которые затем подвергаются различным лабораторным исследованиям. В процессе лабораторных исследований в них определяют концентрации основного металла (урана) и концентрации радионуклидов в его естественной цепочке распада. До проведения лабораторных исследований и в процессах проведения этих исследований керновые пробы хранятся на складах, где создается дополнительный радиационный фон вдобавок к естественному.

Данный дополнительный радиационный фон оказывает вредное ионизирующее воздействие на персонал, работающий с данными пробами, и на окружающую среду. Значения мощности экспозиционной дозы взаимосвязаны с количеством радионуклидов цепочки распада урана в керновых пробах и особенно с количеством радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  в керновых пробах, так как максимальный вклад в суммарную удельную активность керновых проб даёт радионуклид  $^{226}\text{Ra}$ , имеющий максимальную удельную активность среды радионуклидов цепочки распада урана, равную  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк/г. Кроме количества радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  в керновых пробах значения мощности экспозиционной дозы взаимосвязаны с величиной коэффициента радиоактивного равновесия ( $K_{pp}$ ) между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ . Для определения количества этих

радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в керновых пробах применяют современные ядерно-физические лабораторные приборы и методы выполнения измерений [3-5].

На основании вышеперечисленного проводятся исследования по определению радионуклидного состава урановых кернов и оценке радиационной обстановки на местах их хранения, что является актуальной задачей ядерной физики, ядерной аналитики и радиоэкологии.

Основной целью данного исследования является выбор современных ядерно-физических лабораторных приборов и методов выполнения измерений для определения концентрации радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в керновых пробах, величин коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{\text{pp}}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$ , определения взаимосвязи коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{\text{pp}}$  с радиационной обстановкой на местах хранения керновых проб и оценка радиационного состояния на данных локальных точках [6-10].

На основании исследования нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  в пробах урановых образцов, отобранных из проб кернов, можно найти взаимосвязи, являющиеся причиной увеличения радиационного фона на данном локальном участке.

**Полученные результаты и их обсуждение.** На основании вышеперечисленных фактов проведено экспериментальное определение удельной активности радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в 10 керновых пробах, сформированных из 30 проб. Полученные данные по определению удельной активности радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в керновых пробах приведены в таб. 1.

Таблица 1. Результаты определения концентрации радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в керновых пробах

№ проб	Значения удельной активности радионуклидов, Бк/г			
	при радиоактивном равновесии между $^{226}\text{Ra}$ и $^{238}\text{U}$		при нарушении радиоактивного равновесия между $^{226}\text{Ra}$ и $^{238}\text{U}$	
1	$^{238}\text{U} \cdot 10^6$	$^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$	$^{238}\text{U} \cdot 10^6$	$^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$
2	4,38	1,16	4,95	1,78
3	7,18	1,94	8,11	2,75
4	9,43	2,55	10,14	3,84
5	3,98	1,07	6,21	2,27
6	11,70	3,16	9,37	6,47
7	6,91	1,86	12,9	4,55
8	5,60	1,51	17,69	7,88
9	8,60	2,32	23,11	9,32
10	16,70	4,51	27,09	14,20

Как видно из результатов, приведённых в таблице 1, при радиоактивном равновесии  $K_{\text{pp}}$  между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  с увеличением активности радионуклида  $^{238}\text{U}$  параллельно увеличивается активность радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  в данных урановых образцах. Таким образом, при значении 3,98 Бк активности радионуклида  $^{238}\text{U}$

значение активности радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  становится равным 1,07 Бк, а при значении активности 11,70 Бк радионуклида  $^{238}\text{U}$  значение активности радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  линейно увеличивается и становится равным 3,16 Бк. Данные линейные взаимосвязи не наблюдаются в керновых пробах при нарушении радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Установлено, что при определении удельной активности радионуклидов в диапазоне от 0,0119% до 0,0162% в керновых пробах рентгенофлуоресцентным методом среднестатистическая погрешность не превышает 10%.

На тех местах, где хранятся пробы урановых кернов, появляются факторы дополнительного влияния гамма-излучения на значение естественного радиационного фона в данной локальной точке. В большинстве случаев это связано с количеством радиоактивных проб урановых кернов и с их радионуклидным составом. То есть чем больше количество урансодержащих радиоактивных проб урановых кернов на складе, тем больше значение мощности экспозиционной дозы в этом помещении. Кроме этого, на основании проведенных исследований по изучению удельных активностей радионуклидов цепочки распада урана радиационный фон увеличивается на местах хранения проб урановых кернов за счет факторов нарушений радиоактивного равновесия между этими радионуклидами.

На основании данного факта проведено изучение взаимосвязи коэффициента нарушений радиоактивного равновесия со значением мощности экспозиционной дозы на местах хранения проб урановых кернов. Полученные результаты по измерению значений мощности экспозиционной дозы (МЭД) в зависимости от количества радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$ , а также от коэффициента нарушений радиоактивного равновесия  $K_{\text{pp}}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  на местах хранения проб урановых кернов, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты значения мощности экспозиционной дозы и количества радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$

Концентрации в пробах урановых кернов, г/т		МЭД, (мкЗв/час)	Концентрации в проб в урановых отвалах, г/т		МЭД, (мкЗв/час)
$^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$	$^{238}\text{U}$		$^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$	$^{238}\text{U}$	
При радиоактивном равновесии между радионуклидами					
88,7	264,6	0,76	23,8	70	0,47
188,6	564,6	1,40	37,4	110	0,52
251,8	765,1	1,97	44,2	130	0,57
298,0	890,3	2,22	56,1	165	0,60
345,3	1031,2	2,55	60,7	175	0,66
При нарушении радиоактивного равновесия между радионуклидами					
587	1150	3,25	106	208	1,44
670	1232	3,40	156,7	256	2,76
840	1370	4,71	151,2	278	2,93

986	1450	4,98	132,6	300	2,15
1440	1512	5,24	126,5	310	2,09

Как видно из полученных в таб. 2 результатов, значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) зависят от количества радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$ , а также от нарушения коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  на местах хранения проб урановых кернов. Значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) при нарушении коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$ , отличаются от значений естественного фона гамма-излучения данной местности более чем в 3-30 раз.

Приведенные в таблице 2 величины коэффициентов радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  взаимосвязаны с величинами МЭД и с радиационной обстановкой на местах хранения керновых проб.

На основании полученных данных по коэффициентам радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  в ураносодержащих пробах, отобранных из керновых проб, найдены взаимосвязи со значениями мощности эффективной дозы (МЭД) гамма-излучения. На основании полученных данных построена графическая зависимость значений мощности эффективной дозы МЭД от значений коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в урановых кернах (рис. 1).

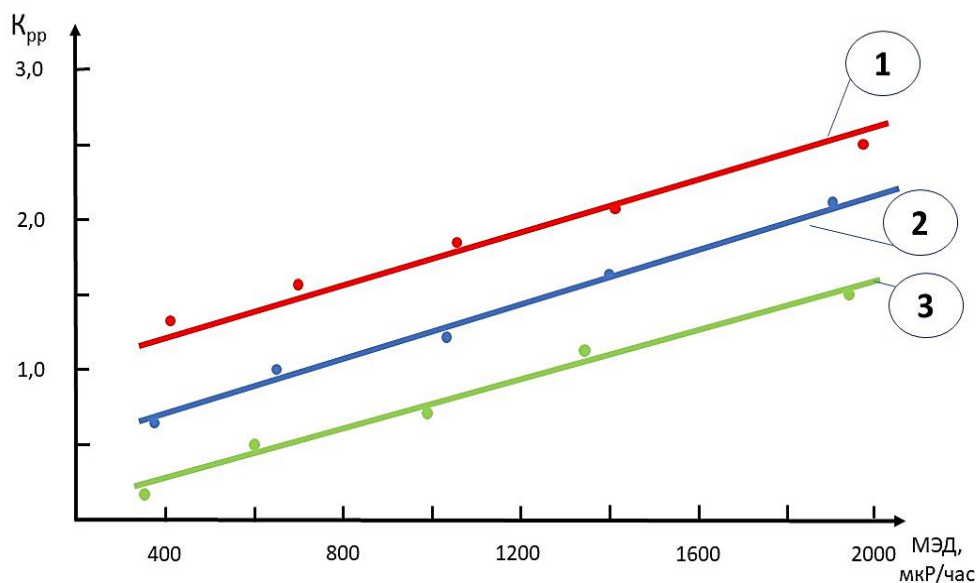


Рисунок 1. Зависимость значений МЭД от  $K_{pp}$  в урановых кернах

Как видно из графической зависимости, приведенной на рис. 1., значения мощности эффективной дозы (МЭД) на местах хранения урановых кернов линейно увеличивается от 320 мкР/час до 2000 мкР/час в зависимости от значений коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  в пробах урановых кернов. В графической зависимости на рис. 1 линия 1 показывает зависимость значений МЭД от  $K_{pp}$  проб урановых кернов. То есть когда  $K_{pp}=1,38$  значений, МЭД будет равна 400 мкР/час и так далее: когда  $K_{pp}=1,51$  значений, МЭД будет равна 700 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,73$  значений, МЭД

будет равна 1060 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,94$  значений, МЭД будет равна 1400 мкР/час; когда  $K_{pp}=2,45$  значений, МЭД будет равна 2000 мкР/час.

В графической зависимости на рис. 1 линия 2 показывает зависимость значений МЭД от  $K_{pp}$  проб урановых кернов. То есть когда  $K_{pp}=0,68$  значений, МЭД будет равна 386 мкР/час и так далее: когда  $K_{pp}=0,92$  значений, МЭД будет равна 640 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,04$  значений, МЭД будет равна 1050 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,25$  значений, МЭД будет равна 1400 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,61$  значений, МЭД будет равна 1900 мкР/час.

Линия 3 демонстрирует зависимость значений МЭД от  $K_{pp}$  проб урановых кернов. То есть когда  $K_{pp}=0,31$  значений, МЭД будет равна 320 мкР/час и так далее: когда  $K_{pp}=0,48$  значений, МЭД будет равна 600 мкР/час; когда  $K_{pp}=0,52$  значений, МЭД будет равна 1000 мкР/час; когда  $K_{pp}=0,76$  значений, МЭД будет равна 1380 мкР/час; когда  $K_{pp}=1,06$  значений, МЭД будет равна 1890 мкР/час.

На основание вышеприведенных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что увеличение значений коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между радионуклидами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  приводит к увеличению радиационного фона на местах хранения проб урановых кернов, так как удельная активность данных проб будет выше за счет увеличения доли дочернего радионуклида  $^{226}\text{Ra}$ , имеющего удельную активность, равную  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк/г.

Проведённые исследования по определению нарушения коэффициента радиоактивного равновесия  $K_{pp}$  между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  в урановых керновых пробах являлись основой изучения закономерности ядерных процессов, происходящих в цепочке распада урана. Тем самым была достигнута цель — выбор способа и технологии выщелачивания урана для конкретного месторождения. Были также сделаны выводы по оценке радиационной обстановки на местах хранения урановых керновых проб и по предотвращению их радиационного воздействия на окружающую среду.

#### Список литературы:

1. Возжеников Г.С., Белышев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика. Учебное пособие. - Екатеринбург.: 2006. – 418 с.
2. «Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). - Ташкент.: 2006. - 86 с.
3. «Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке урановых руд (СП-ЛПК-98)» СанПиН №0079-98.- Ташкент.: 2008. - 54 с.
4. «Санитарные правила эксплуатации геотехнологических рудников (СПЭГТР – 2018)» СанПиН РУз №0360-18. - Ташкент.: 2006. - 86 с.
5. Голик В.И. Научно-технический прогресс в истории подземной добычи радиоактивных руд. ЦНИИ и ТЭИ Ч М. – М., 1992. –162 с.
6. Кротков В.В. [и др.] Горно-химическая технология добычи урана - М.: ГЕОС, 2001. - 368 с.

7. Голик В.И., Ляшенко В.И., Люлько О.В., Стусь В.П. Охорона навколишнього середовища та людини в урановидобувних регіонах. Позитрон Гмбх. – Киев, 2004. – 485 с.
8. Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Кулматов Р.А. Оценка радиационной опасности урановых предприятий для объектов окружающей среды // XXI век. Техносферная безопасность. Москва, Том 6. №1., 2021. - С. 94-102
9. Музафаров А.М., Кулматов Р.А. Ражаббоев И., Ёкубов О.М. Способ дезактивации загрязненных радионуклидами почв, отобранных из участков подземного выщелачивания урана // Горный информационно аналитический бюллетень. «Физика-химическая геотехнология-инновации и тенденции развития». 2021. (3-1): - С. 110-118
10. Урунов И.А., Аллаберганова Г.М., Суюнов У.А., Курбанов Б.И., Музафаров А.М., Анализ радионуклидного состава и радиоактивного равновесия между ними в продуктах химконцентратов урана // Электронный научный журнал «Потомки Аль - Фаргани» Ферганского филиала ТАТУ имени Мухаммада аль-Хоразми ISSN2181-4252 Том:1. Выпуск: 1. 2025 год. -С 71-75.