

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что в исследованных озерных осадках можно выделить три новообразованные формы U(IV):

Первая форма легко растворяется в 0,5M HNO₃ и холодной концентрированной кислоте, что свойственно коффиниту (USiO₄).

Вторая – растворяется только в кипящей концентрированной HNO₃, что является характерным свойством оксидных минералов группы уранинита (UO_{2+x}); она в количествах значительно превышающих пределы обнаружения методом альфа-спектрометрии присутствует в нижних горизонтах осадка оз. Намши-Нур.

Третья – хорошо растворяется в концентрированной HNO₃ при ее нагреве до 90 °С, эта форма в четком виде проявляется в отложениях оз. Мелкое.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-05-00139, 15-35-21024, проекта НИР VIII.72.2.3.

Литература

1. Поведение урана и марганца в процессе диагенеза карбонатных осадков малых озер Байкальского региона / Ю.С. Восель, В.Д. Страховенко, И.В. Макарова и др. // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 463, № 3. – С. 335–339.
2. Геохимия диагенеза осадков Тихого океана (трансокеанский профиль) / под ред. Э.А. Остроумова. – М.: Наука, 1980. – 288 с.
3. Дойникова О.А. Минералогия урана восстановительной зоны гипергенеза (по данным электронной микроскопии). – М.: Физматлит, 2012. – 216 с.
4. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ. – М.: КолосС, 2003. – 480 с.
5. Чердынцев В.В. Уран-234. – М.: Атомиздат, 1969. – 308 с.
6. Normierung von Extraktionsexperimenten zur Bestimmung der Bindung von Radiocaesium an Sedimente des Luganersees / E. Klemm, S. Kaminski, R. Miller et al. // Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz. Bundesamt für Gesundheit. – 2000.
7. Klinkhammer G.P., Palmer M.R. Uranium in the oceans: where it goes and why // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1991. – Vol. 55. – P. 1799–1806.
8. Mangini A., Jung M., Laukenmann S. What do we learn from peaks of uranium and of manganese in deep sea sediments? // *Marine Geology*. – 2001. – Vol. 177. – P. 63–78.

РАНЖИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПО КРИТЕРИЯМ ОЦЕНКИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭЛЬКОНСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

В.А. Галактионов¹, В.Г. Журавлев¹, И.В. Павлова², В.А. Домаренко²

¹Акционерное общество "Эльконский ГМК", Москва, Россия, marchekan49@mail.ru

²Томский политехнический университет, Томск, Россия, viktor_domarenko@mail.ru

RANGING OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDE POLLUTION ON ESTIMATION CRITERIA OF RADIOECOLOGICAL CONDITION FOR ELKON MINING METALLURGICAL PLANT CONSTRUCTION

V. Galaktionov¹, V. Juravlev¹, I. Pavlova², V. Domarenko²

¹Elkon Mining Metallurgical Plant, Moscow, Russia

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

В данной статье рассматриваются понятия геоэкологического риска, риска здоровью человека, связанные с радиационными воздействиями, раскрываются проблемы и методология оценки радиационной обстановки и ранжировании техногенного радионуклидного загрязнения при освоении месторождений Эльконского урановорудного района.

Ключевые слова: радионуклидное загрязнение, геоэкологический риск, охрана окружающей среды, урановорудное месторождение, радиационное воздействие, экология.

This article deals with a notion of environmental risk and the risk for human health caused by radiation. The problems and methodology to estimate the radiation situation and range the technogenic radionuclide pollution at field development of the Elkon Uranium Province are considered.

Keywords: radionuclide pollution, geoecological risks, environment protection, uranium deposits, radiation, ecology.

Комплексные золотоурановые месторождения Южной Якутии относятся к месторождениям мезозойской тектоно-магматической активизации в щелочных метасоматитах [2]. Территория района в целом относится к категории достаточно сложных в геологическом, инженерно-геологическом, горно-техническом, экологичес-

ком и иных отношениях, определяющих целесообразность его горнопромышленного освоения, а также целый ряд факторов, которые должны учитываться на всех стадиях намечаемых работ [1, 3–5, 7–12].

В настоящее время основными официальными документами по обеспечению радиационной безопаснос-

Таблица 1. Ранжирование отвалов по критериям оценки радиозоологического состояния территории

№ п/п	Участок	Радиозоологическое состояние		
		Удовлетворительное (ОБ)	Чрезвычайная экологическая ситуация (ЗЧЭС)	Экологическое бедствие (ЗЭБ)
1	Акин	–	А3, А4, А5, А6, А7	А1, А2
2	Дрожжевой	–	Д1, Д2, Д3, Д4	–
3	Курунг 1	–	К13, К14, К15, К16, К17, К18	К11, К12
4	Курунг 2	К21, К23	К22	–
5	Минеевский	–	М1	–
6	Непроходимый 1	–	Н11, Н12, Н13	–
7	Непроходимый 2	–	Н21, Н22, Н23	–
8	Русская	–	Р1, Р2, Р3	–
9	Холодная	–	Х1, Х2	Х3
10	Элькон	–	Э1, Э2, Э3	–

ти населении России являются: "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)" и "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)". В этих документах установлены допустимые нормы для ограничения облучения людей от природных источников излучения (НРБ-99; ОСПОРБ-99) [6]. Основными параметрами для ограничения облучения являются величина гамма-фона, содержание радона в воздухе жилых помещений и плотность потока радона с поверхности почвогрунтов. Эти параметры оцениваются при выборе участков территорий под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения. В настоящее время НРБ-99 рекомендует под строительство участки с гамма-фоном, не превышающим 0,3 мкГр/ч (34 мкР/ч), и с плотностью потока радона с поверхности грунта в 80 мБк/м²с). Кроме того, существует ограничение на использование строительных материалов по эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) естественных радионуклидов. По величине этого параметра устанавливают класс строительного материала (щебень, песок, шлаки и др.). В настоящее время для разрабатываемых и законсервированных месторождений твердых полезных ископаемых не существует официальных утвержденных Госсанэпиднадзором России документов по классификации их по степени радиационной опасности. Поэтому при оценке радиационной обстановки и ранжировании техногенного радионуклидного загрязнения на исследуемой территории мы использовали два методологических подхода, наиболее принятых в настоящее время и используемых при решении подобного рода задач. В первом случае ранжирование территории исследуемых техногенных ландшафтов производилось по величине среднего значения мощности экспозиционной дозы (МЭД), полученной для конкретных отвалов горных пород. При этом выделялось три радиозоологических критерия оценки состояния территории (табл. 1) удовлетворительное (относительного благополучия, ОБ) с величиной МЭД до 20 мкР/ч, чрезвычайной экологической ситуации (ЗЧЭС) со значением МЭД в пределах 200–400 мкР/ч и экологического бедствия (ЗЭБ) с ве-

Таблица 2. Предельные значения $A_{эфф}$ для классификации месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности

Категория месторождения (класс опасности)	$A_{эфф}$, Бк/кг	
	От	До
1. Особо опасные	Более 3500	
2. Опасные	1000	3500
3. Потенциально опасные	100	1000
4. Безопасные	Менее 100	

личной МЭД более 400 мкР/ч. Согласно данному ранжированию из 38 исследованных нами отвалов относились: к категории ОБ – всего 2 (или 5,3%), к ЗЧЭС – 31 (основная часть или 81,6%) и к ЗЭБ – 5 отвалов (или 13,2% от их общего количества).

В последние годы, используя рекомендации ОСПОРБ-99 И.М. Хайкович с соавторами [46] разработали, по величине $A_{эфф}$ классификацию для всех промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности (табл. 2).

Согласно этой классификации все месторождения, подразделяются на четыре категории (класса): особо опасные (1), опасные (2), потенциально опасные (3) и безопасные (4). В нашем случае по этой классификации 28,6% всех обследованных отвалов попадают в категорию 1, 25,7 и 40,0% соответственно в категории 2 и 3, а остальные 5,7% – в категорию 4. При этом из 35 отвалов более половины, то есть 19 (или 54,3%) попадают на основе средних значений эффективной удельной активности естественных радионуклидов в категории опасных и особо опасных.

По величине гамма-фона 91,4% обследованных отвалов не пригодны для отвода участков под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения. По значениям эффективной удельной активности 46,5% отвалов относятся к строительным материалам 1 и 2 класса, а более 50% отвалов не пригодны в качестве стройматериалов и требуют утилизации.

В связи с необходимостью улучшения экологической обстановки территории исследуемых техногенных ландшафтов, нами в первом приближении было проведено разделение отвалов по необходимости проведения специальных реабилитационных мероприятий (табл. 2), при этом в качестве основного критерия использовались также средние значения МЭД, полученные ранее, а также рекомендации. В соответствии с рекомендуемыми критериями участки со значениями МЭД менее 30 мкР/ч считаются относительно благополучными с МЭД в пределах 30–300 – нуждаются в рекультивации, а с МЭД более 300 мкР/ч – должны вывозиться в специальные пункты для захоронения. Согласно данным критериям из 38 обследованных нами отвалов большая часть 27 (или 71,1%) должна быть рекультивируема, а горная масса 6 (15,8%) должна быть подвергнута соответствующим образом захоронению.

В связи с этим необходимо отметить, что до последнего времени точно не определены как объемы горнорудной массы отвалов, так и площадь радиоактивно-загрязненных территорий, примыкающих к ним, подлежащие захоронению и рекультивации. Известно, что лишь только общая масса отвалов на разведанных месторождениях Эльконского горста составляет около 1 млн т, а возможно и более, так как общее количество отвалов здесь также до конца не учтено. В этом плане отметим лишь то, что при проведении полевых рекогносцировочных работ в 2005 г. на Эльконском горсте на участках Холодная, Русская и Минеевский нами дополнительно было учтено 6 новых радиоактивных отвалов (М1, Р1, Р2, Х1, Х и Х3), требующих по критериям оценки проведения рекультивационных работ. Более того, как указывалось выше, до последнего времени при оценке степени радиоактивного загрязнения исследуемой территории не учитывалось наличие большого числа шурфов, геологических канав, а также буровых площадок с керном, которые особенно в большом количестве встречаются в местах интенсивной геологоразведки. Данные источники загрязнения, наряду с исследованными отвалами, также по нашим данным характеризуются весьма высокими радиационными параметрами и требуют

детального изучения в процессе проведения инвентаризационных работ. Поэтому очевидно, что столь сложная, объемная и высокочувствительная задача реабилитации техногенных участков должна последовательно решаться только после наиболее полной инвентаризации на исследуемой территории источников радиоактивного загрязнения. Помимо этого, необходимо учитывать весь комплекс их радиационных параметров, с учетом всех региональных ландшафтно-геохимических особенностей миграции радиоактивных элементов, а также практику возможного дальнейшего промышленного освоения разведанных и законсервированных урановых месторождений Эльконского горста в современных изменившихся социально-экономических условиях Южной Якутии.

Заключение

На исследуемой территории уран мигрирует преимущественно в составе растворенного органического вещества (РОВ) и более прочно аккумулируется во всей толще аллювиальных почв. Радий мигрирует в ионной форме и в составе твердого стока водотоков и закрепляется главным образом в органогенной части профиля исследуемых почв. Содержание ^{226}Ra и ^{238}U в почвах водораздельных участков техногенных ландшафтов соответственно в 4–5 и в 7–60 раз, а в почвах пойм в 36–121 раз выше, чем в почвах фоновых незагрязненных участков. Внутрипрофильное распределение ^{238}U в аллювиальных почвах неравномерное, с 2 или даже 3 пиками увеличения его концентраций. При этом суммарное содержание миграционноспособных форм урана в минеральных горизонтах подбуря в зоне ветрового рассеяния не превышает 15% от его общего содержания, тогда как в аллювиальной почве в зоне водного рассеяния оно всегда выше 30%.

На исследованной территории преобладают воды гидрокарбонатно-кальциевого, сульфатно-кальциевого и натриевого типов со слабокислой, а также нейтральной реакцией среды и общей минерализацией 18,9–126,1 мг/л. В поверхностных водах техногенных ландшафтов наблюдается закономерная смена их ионного

Таблица 3. Ранжирование отвалов по критериям необходимости проведения реабилитационных мероприятий

№ п/п	Участок	Требования по критериям радиоэкологического состояния		
		Относительное благополучие (ОБ)	Рекультивация (РК)	Вывоз на захоронение (ВЗ)
1	Акин	–	А4, А5, А6, А7	А1, А2, А3
2	Дрожжевой	–	Д1, Д2, Д3, Д4	–
3	Курунг 1	–	К13, К14, К16, К17, К18	К11, К12, К15
4	Курунг 2	К21, К23	К22	–
5	Минеевский	–	М1	–
6	Непроходимый 1	–	Н11, Н12, Н13	–
7	Непроходимый 2	–	Н21, Н22, Н23	–
8	Русская	Р3	Р1, Р2	–
9	Холодная	–	Х1, Х2, Х3	–
10	Элькон	Э1, Э3	Э1	–

состава с гидрокарбонатно-кальциевого на сульфатно-кальциевый и сульфатно-натриевый, что связано с извлечением на дневную поверхность урановых руд, содержащих в своем составе также сульфидные минералы. В результате комплексных исследований выявлены особенности миграции ^{238}U и ^{226}Ra с поверхностными водами. При этом установлено, что миграция радионуклидов зависит как от свойств самих элементов, так и от химического состава поверхностных вод. Из источников загрязнения (отвалы горных пород и руд) ^{238}U мигрирует преимущественно в виде воднорастворимых соединений с PO_4 , а ^{226}Ra в составе твердого стока с мелкодисперсными продуктами выветривания горных пород, слагающих отвалы, и в составе ионных слаборастворимых соединений. При этом уран по сравнению с радием более интенсивно выщелачивается из отвалов урановых руд, вследствие чего, отношение ^{226}Ra к ^{238}U (содержание радия в единицах равновесного урана) в мелкоземле отвалов превышает единицу. Фоновые концентрации урана в водах исследованных водотоков изменяются в пределах от 2 до $6 \cdot 10^{-7}$ г/л, а радия – не превышают $1 \cdot 10^{-12}$ г/л. Вблизи источников загрязнения концентрация урана в воде увеличивается до $8 \cdot 10^{-5}$ г/л и в отдельных случаях – до $2 \cdot 10^{-3}$ г/л, а радия – до $4,7 \cdot 10^{-12}$ г/л.

Данные площадной гамма- и гамма-спектральной съемки, проведенной в ходе выполняемых исследований, указывает на то, что на основной территории, где предусматривается строительство объектов Эльконского ГМК, радиационная обстановка оценивается в целом как благополучная. Так, гамма-фон здесь изменяется от 5 до 18 мкР/ч и соответствует среднему российскому показателю. В исследованных точках концентрация калия изменяется от 0,4 до 5,6%, урана (по радию) от 0,4 до $3,9 \cdot 10^{-4}$ %, а тория от 2,9 до $20,5 \cdot 10^{-4}$ % и не выходит за пределы их фоновых значений.

Вместе с тем на исследуемой территории, особенно на Эльконском горсте, в районе месторождения Южное, в местах складирования радиоактивных отвалов горных пород выделяются отдельные техногенные участки с напряженной радиационной обстановкой. Так здесь на поверхности отвалов мощность экспозиционной дозы гамма-излучения изменяется от 10 до 2150 мкР/ч, значение эффективной удельной активности радионуклидов варьируют в пределах 68–23640 Бк/кг, а содержание урана – 2–1888 мт/кг, то есть максимально превышает фоновое почти в 1000 раз. В зонах радиоактивного загрязнения отмечается образование контрастных и устойчивых техногенных ореолов рассеяния природных радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U в основных компонентах ландшафтов посредством их эоловой и гидрогенной миграции. При этом повышенные концентрации ^{238}U обнаруживаются в поверхностном слое почвогрунтов в зоне ветрового рассеяния на удалении от отвалов почти до 1 км, а водного – на расстоянии до 2 км, а иногда и более.

Таким образом, контрастная радиационная обстановка, сложившаяся сегодня на территории Эльконского ураново-рудного района, требует при ее объективной оценке проведения дальнейших углубленных радиологических исследований, особенно в техногенных зонах.

Литература

1. *Временное положение о горно-экологическом мониторинге. Утверждено 16 мая 1997 г.* – М. : Госгортехнадзор, 1997. – 10 с.
2. Наумов С.С., Шумилин В.М. Урановые месторождения Алдана // *Отечественная геология.* – 1994. – № 11–12. – С. 20–23.
3. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы.* – М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
4. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1. 799–99.* – М. : Минздрав России, 2000. – 98 с.
5. Собакин П.И., Чевычелов А.П., Ушницкий В.Е. Радиологическая обстановка на территории Якутии // *Радиационная биология. Радиозология.* – 2004. – Т. 44, № 3. – С. 283–288.
6. Хайкович И.М., Мац Н.А., Харламов М.Г. Классификация месторождений полезных ископаемых по радиационной опасности // *Региональная геология и металлогения.* – 1999. – № 8. – С. 131–140.
7. Чевычелов А.П., Собакин П.И. Радиоактивное загрязнение мерзлотных почв ^{238}U в зоне урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) // *Современные проблемы загрязнения почв : матер. II межд. научн. конф.* – 2007. – Т. 1. – С. 261–264.
8. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Кузнецова Л.И. О роли аллювиального процесса в радиоактивном загрязнении почв техногенных таежно-мерзлотных ландшафтов Эльконского ураново-рудного района // *Ноосферные изменения в почвенном покрове : матер. межд. научн.-практич. конф. Владивосток.* – 2007. – С. 153–156.
9. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Молчанова А.В. Особенности техногенного загрязнения мерзлотных почв горно-таежных ландшафтов Южной Якутии естественными радионуклидами ^{238}U и ^{226}Ra // *Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем : матер. межд. конф. Ростов-на-Дону.* – 2006. – С. 453–455.
10. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Ушницкий В.Е. Ландшафтно-климатические и почвенно-геохимические условия миграции естественных радионуклидов в ландшафтах зоны урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) // *Вестник Томского государственного университета.* – 2003. – № 3 (4). – С. 312–314.