

COMPLEX OF ANALYTICAL METHODS BY STUDYING RADIOECOLOGICAL SITUATION IN REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

I.A. Shishkov¹, T.Y. Chesnokova¹, A.E. Bakhur²

¹ Joint-stock Company "Volkovgeology", Almaty, Republic of Kazakhstan, vershina@come.kz

² Federal State Unitary Enterprise «VIMS» («All-Russian Scientific-Research Institute Of Mineral Resources Named After N.M. Fedorovsky»), Moscow, Russia, lab@u238.ru

Kazakhstan is one of the most countries that has strained radioecological situation, which can be explain by two principal reasons. First of all, Republic of Kazakhstan has one of the biggest natural uranium raw material bases in the world; secondly, during 40 years (from 1949 to 1989) Kazakhstan had been the main range of realization nuclear tests in the Soviet Union, which brought negative changes in the environment.

Program's purpose of studying radioactive situation on the territory of Republic of Kazakhstan was to find out radioactive-strained zones and regions, mark out areas for the realization next radioecological monitoring and exploit activities to reduce radioactive strained situation in Kazakhstan. The important link in this work was rational complex of analytical researches, which describes in this work.

КОМПЛЕКС АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

И.А. Шишков¹, Т.Я. Чеснокова¹, А.Е. Бахур²

¹ АО «Волковгеология», Алматы, Республика Казахстан, vershina@come.kz

² ФГУП «ВИМС», Москва, Россия, lab@u238.ru

Республика Казахстан (РК) относится к числу стран с весьма напряженной радиоэкологической обстановкой. Во-первых, Казахстан обладает одной из крупнейших в мире сырьевой базой урана и, во-вторых, на протяжении 40 лет (с 1949 по 1989 г.г.) являлся главным полигоном СССР по проведению ядерных испытаний, повлекших за собой негативное воздействие на окружающую среду.

В зонах радиационного воздействия находится около 13 % территории Казахстана (350 тыс. км²) с населением более 1 млн. человек. Очевидно серьезное влияние естественной и техногенной радиоактивности на среду обитания человека – почвы, флору и фауну, природные воды, приземный слой атмосферы.

Таким образом, на территории РК чрезвычайно актуальными являются задачи оценки современной радиационной обстановки; зонирования территории по сумме радиационных факторов: мощности экспозиционной дозы, концентраций естественных и техногенных радионуклидов (ЕРН и ТРН) в растениях, почвах, грунтах, водах, стройматериалах, концентрации радона в приземном слое атмосферы, почве, воде и помещениях; выделения площадей для организации мониторинга; разработки по результатам исследований рекомендаций по реабилитации загрязненных территорий и защите населения от сверхнормативного радиационного облучения.

Решение этих задач невозможно без обоснования и практического использования оптимального комплекса аналитических методов, с учетом специфики источников загрязнения, радионуклидного состава и уровней активности.

Основные факторы, определяющие неблагоприятную радиационную обстановку:

1. Загрязнение земной поверхности искусственными радионуклидами в результате многолетних ядерных испытаний на территории Семипалатинского и других полигонов, а также ядерных взрывов в мирных целях; функционирования промышленных и исследовательских реакторов, один из которых, промышленный реактор БН-350 (г. Актау), в настоящее время остановлен; использования источников ионизирующих излучений (ИИИ) в промышленности, медицине, науке [1, 3, 7 - 10].

Суммарная активность радиоактивных отходов ядерных полигонов составляет 12,9 млн. Кюри при общей массе 12,3 млн. т, из которых 6,5 млн. т накопилось в

подземных полостях и 5,8 млн. т – на поверхности в местах проведения наземных ядерных взрывов. Отходы ядерной энергетики составляют 15 тыс. т с активностью 2,3 млн. Кюри, для которых необходимо решить проблему их захоронения.

Основная опасность этих источников загрязнения связана с поступлением в различных формах в окружающую среду чуждых для живой природы радионуклидов – ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu и др.

2. Значительная часть территории РК характеризуется высоким естественным радиационным фоном почв и горных пород в районах урановых, ториевых и редкометалльных рудных провинций и районов, а также широким распространением природных грунтовых и подземных вод с высокими содержаниями радионуклидов [5 - 7, 11, 12]: Северо-Казахстанская, Бетпақдала-Чу-Илийская, Шу-Сарысуйская, Сырдарьинская, Илийская рудные провинции, Прикаспийский урановорудный район.

Для этих территорий характерны: выходы на дневную поверхность интрузивных и эффузивных горных пород с повышенными фоновыми содержаниями U и Th; типичные для аридных зон локальные приповерхностные инсоляционно-эвапорационные скопления U; площадное развитие водоносных горизонтов и водоисточников с аномальными концентрациями ЕРН; рудоформирующие зоны пластового окисления (ЗПО), содержащих помимо радионуклидов сверхнормативные (выше ПДК) концентрации Se, Br, Mn, Al, Fe, Cd; наличие крупных разломов с повышенным эманированием, что приводит к значительному увеличению концентрации радона и его дочерних продуктов распада.

Например, в некоторых городах и поселках в 70 % жилых домов концентрация радона превышает предельно допустимые значения (200 Бк/м^3): г. Жезказган, п.п. Акчатау, Актогай Карагандинской области, г. Макинск, п.п. Балкашино Акмолинской области, Аксай Западно-Казахстанской области, п. Арыкбалык, г. Щучинск, п. Горный Северо-Казахстанской области и другие. В пределах этих областей 64 населенных пункта попадают в потенциально опасные по радону зоны. Зафиксированы случаи, когда объемная активность ^{222}Rn в почвах достигает значений до $3 \times 10^5 \text{ Бк/м}^3$, а в помещениях – $(6 - 12) \times 10^3 \text{ Бк/м}^3$, что превышает нормативы в 60 раз.

Кроме того, в ряде районов, особенно в пределах Шу-Сарысуйской урановорудной провинции, существуют условия для выходов радиоактивных подземных вод на поверхность через сеть большого количества самоизливающихся бесхозных скважин, пробуренных различными организациями. Это приводит к значительному радиационному и химическому загрязнению почв и растительности. Часто у таких скважин расположены огороды и бахчи, продукция которых представляет очевидную угрозу для здоровья. На поверхности около скважин формируются радиоактивные ореолы с удельной активностью ^{226}Ra в почвах от $2 \times 10^3 \text{ Бк/кг}$ до $1,26 \times 10^6 \text{ Бк/кг}$

Все эти особенности определяют повышенный естественный фон и уровень дозовой нагрузки на население за счёт внешнего гамма-излучения, поступления радионуклидов с воздухом, водой и пищей – ^{234}U , ^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn .

3. Большое количество очагов техногенного загрязнения природными радионуклидами в виде радиоактивных отвалов горных пород, хвостов рудообогатительных фабрик, сбросов природных и технологических вод при геологоразведочных и эксплуатационных работах на месторождениях урана [2, 4, 12], сопровождаемых активными процессами рассеяния, миграции и перераспределения радионуклидов, нарушения радиоактивного равновесия.

В последние десятилетия по ряду причин многие предприятия Северо-Казахстанской и Бетпақдала-Чу-Илийской провинций прекратили своё существование, и огромные объёмы радиоактивных бесхозных отходов представляют опасность в связи

с тем, что раздробленные породы интенсивно выделяют ^{222}Rn , материал отвалов может несанкционированно использоваться местным населением и строительными фирмами для строительства зданий, отсыпки дорог и других хозяйственных целей. При этом уровень мощности радиационной дозы от каждого из брошенных отвалов превышает ПДК более чем в 50 раз. Разнос радионуклидов в виде пылевидных аэрозолей распространяется на десятки километров. Радиоактивные отходы горнодобывающей отрасли составляют 222 млн. т с суммарной активностью около 250 тыс. Кюри.

Отработка месторождений U методами подземного выщелачивания (ПВ) сопровождается внедрением технологических растворов в водоносные горизонты, нарушением режима подземных вод, образованием депрессионных воронок в результате нарушения баланса между закачиваемыми и откачиваемыми растворами.

Перечисленные факторы являются мощным источником техногенного загрязнения окружающей среды природными радионуклидами - ^{234}U , ^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn , при этом со значительным нарушением радиоактивного равновесия в рядах ^{238}U и ^{232}Th .

4. Серьезным источником радиоактивного загрязнения являются технологические процессы по добыче и переработке нефти. Почвы и пластовые воды в районах добычи нефти содержат повышенные концентрации ЕРН. Радионуклиды концентрируются в местах сбросов нефтяных вод, а также на стенках технологического оборудования и трубопроводов, формируя активности, превышающие фон в сотни и тысячи раз и сопоставимые с классами низко- и среднеактивных РАО. Удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th в верхнем слое почвы на полях испарения достигают $n \times 10^4$ Бк/кг.

Таким образом, в нефтеносных регионах Казахстана (Мангистауский и Атырауский) существует серьезная проблема радиационного заражения территорий, требующая разработки методов дезактивации и обеззараживания почв и бывших в употреблении технологических труб. Радиоактивные отходы от нефтепромыслов Западного Казахстана составляют 2,4 млн. тонн с активностью 128 Кюри.

Главными дозообразующими радионуклидами этого источника загрязнения являются изотопы радия, тория и радона: ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , ^{222}Rn , ^{220}Rn .

5. Деятельность предприятий неуранового профиля (полиметаллы, редкие земли, угли) вносит свой ощутимый вклад в загрязнение окружающей среды. При этом радиоактивное загрязнение сопровождается химическим, с поступлением тяжелых металлов и токсичных элементов (Se, Br, Mn, Al, Fe, Cd, P, Cu, Zn, Pb, Co, As, и др.), что лишь усиливает негативное воздействие на живую природу. К таким объектам относятся Прикаспийский горнометаллургический комбинат (скандий-редкоземельно-уран-фосфорное оруденение), месторождения углей (Куланское, Ой-Карагой), цветных и черных металлов, фосфоритов. Только в хвостохранилище Прикаспийского комбината сконцентрировано 173 млн. тонн отходов с активностью 187 тыс. Кюри.

Таким образом, анализ основных источников радиационного загрязнения на территории РК приводит к выводу о необходимости использования комплекса радиоизотопных, радиометрических и физико-химических методов, а при необходимости – радиографических и электронно-микроскопических.

Такой комплекс позволяет получить достоверную и полную информацию о радиоэкологическом состоянии природной среды, идентифицировать радионуклидный состав и формы нахождения радионуклидов, количественные и миграционные характеристики загрязнения, выявить основные тенденции в изменении радиационной ситуации, осуществить прогнозные оценки и выработку рекомендаций по снижению дозовых нагрузок на население. В обобщенном виде комплекс лабораторных методов и рекомендуемая последовательность их применения при радиоэкологических исследованиях [2] показаны на рисунке 1. Маркировкой «MP-1,2,...» отмечены номера

методических руководств (методики выполнения измерений, методические указания и рекомендации), разработанные в ФГУП «ВИМС» и обеспечивающие выполнение данного вида исследований.

Решаемые комплексом задачи: идентификация и количественные определения ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{40}K , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu и др., тяжелых металлов и токсичных элементов, установление характера пространственного распределения и форм нахождения радионуклидов, выявление «горячих» частиц и исследование их характеристик, оценка интенсивности миграционных характеристик, соответствие нормам радиационной безопасности, прогноз и рекомендации по снижению уровней облучения.

Рис. 1. Обобщенная блок-схема комплекса лабораторных методов при радиоэкологических исследованиях загрязненных территорий.

В последние годы специалистами АО «Волковгеология», РГП НЯЦ РК, ТОО «КАТЭП-АЭ», ТОО НПЦ «Геокен», Республиканской СЭС и ФГУП «ВИМС» разработанный комплекс использован частично или в полной мере при выполнении работ по Программе изучения радиационной обстановки на территории Республики Казахстан на 2002 – 2006 г.г. [7] и другим программам.

Лабораторные исследования выполнялись с применением аттестованных методик выполнения измерений, соответствующих категории точности не ниже III, с нижними пределами обнаружения на уровне фоновых значений или ниже. Комплекс включает инструментальные спектрометрические методы (суммарная α - β -активность, гамма-спектрометрия), методы с предварительной радиохимической подготовкой проб и α -, β - или γ -спектрометрическим окончанием, физико-химические методы (масс-спектральный и атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой, рентгеноспектральный флуоресцентный, атомно-абсорбционный, лазерно-люминесцентный), автордиографические и электронно-микроскопические методы.

В качестве примеров можно привести результаты исследования радиоактивности водоносных горизонтов (таблица 1). Долговременное перемещение растворенного урана по водоносным горизонтам привело к загрязнению водовмещающих окисленных пород радионуклидами, в первую очередь ^{226}Ra . Пластовые воды загрязнены ЕРН и некоторыми другими токсичными элементами. Содержания ^{238}U в подземных водах изменяются в широких пределах, от $n \times 10^{-7}$ до 2×10^{-4} г/дм³, превышая уровни вмешательства УВ^{вода} в пределах урановорудных залежей. Кроме того, очевидна зараженность вод (особенно в пределах ЗПО) ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb и ^{222}Rn .

Существенно осложняют ситуацию перетоки подземных вод между отдельными водоносными горизонтами и комплексами через гидравлические окна и зоны разломов в водовмещающих породах, через гидрогеологические и разведочные скважины, соединяющие рудоносные и безрудные горизонты.

Контуры аномальных вод с эффективной дозой более 0,1 мЗв/год прослеживаются на расстояниях до 3-5 км от основной линии выклинивания ЗПО в породах в направлении сероцветных проницаемых пород. В тыловой части в пределах окисленных рудовмещающих отложений граница ореола может находиться на расстоянии до 20 км и более.

Средняя ширина проекции подземных вод с аномальными концентрациями радионуклидов на дневную поверхность для водоносных горизонтов палеогенового возраста составляет 20-30 км, достигая, например, в долине реки Чу 70 км.

В таблице 2 представлен пример исследования радионуклидного состава и форм нахождения радионуклидов в почвах участка проведения ядерных испытаний [1, 3, 8]. В почвах установлены высокие активности трансурановых элементов и осколочных продуктов деления. Их активность с глубиной существенно снижается, но на 20 см еще не достигают фоновых значений. ^{239,240,238}Pu и ⁹⁰Sr находятся в труднорастворимых формах в виде микроскопических радиоактивных частиц на поверхности более крупных (до 0,5 мм) стеклообразных сфероидов силикатного состава. Крупные частицы аморфны, окружены корочкой колломорфной структуры близкого элементного состава и не имеющей прочного контакта с поверхностью сфероида. На поверхности колломорфной пленки находится большое количество собственно радиоактивных частиц с высокой плотностью, представляющих высокотемпературные формы Pu и Sr.

Таким образом, РК в силу особенностей геологического строения, богатства природными ресурсами, а также исторических условий развития в качестве сырьевой базы военно-промышленного комплекса и полигонов для ядерных испытаний, как ни одна страна в мире накопила богатый и печальный опыт отношений с величайшим открытием XX столетия - радиоактивностью. Значительная часть территории загрязнена ЕРН и ТРН. Стоит сложнейшая проблема реабилитации загрязненных территорий, утилизации и захоронения РАО.

Вместе с тем сложившаяся в РК ситуация предоставляет уникальные возможности для проведения широкого круга радиоэкологических исследований, совершенствования и апробации комплекса радиоизотопных, физико-химических, радиографических и электронно-микроскопических методов.

Литература

1. Бахур А.Е., Шишков И.А., Дубинчук В.Т. и др. Радиоактивные частицы в почвах Семипалатинского полигона // *Радиация и риск.* – 1997. – Вып. 9.
2. Бахур А.Е. Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. – М.: ФГУП «ВИМС», 2008.
3. Берикболов Б.Р., Шишков И.А., Бахур А.Е. и др. Формы нахождения и особенности определения техногенных долгоживущих радионуклидов в почвах Семипалатинского ядерного полигона // *Геология Казахстана.* – 1998. – № 2 (354).
4. Берикболов Б.Р., Ефремов Г.Ф., Шишков И.А. Организация и выполнение временного и пространственного радиационного мониторинга окружающей среды на территории Казахстана. Материалы IV международной конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». Алматы, 2006.
5. Малышев В.И., Бахур А.Е., Соколова З.А. и др. Особенности изотопно-почвенных аномалий на урановых месторождениях в русловых структурах Центрального Казахстана / Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов // *Информационный сборник КНТС № 127.* – М.: ВИМС, 1991.
6. Мендыгалиев А.С., Шишков И.А., Флёрова Р.И. Радиоэкологическое состояние подземных вод территории Северо-Казахстанской урановорудной провинции. Материалы IV международной конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». Алматы, 2006.
7. Программа изучения радиационной обстановки на территории Республики Казахстан на 2002 – 2006 г.г. Утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан. г. Алматы, г. Курчатов, 2002.
8. Шишков И.А. Особенности радиоактивного загрязнения почв на Семипалатинском испытательном полигоне / Материалы НТС «Проблемы радиационного загрязнения бывшего Семипалатинского полигона и прилегающих к нему территорий». г. Курчатов, 1996.
9. Шишков И.А., Дубинчин П.П., Бахур А.Е. и др. Формы нахождения и особенности путей миграции долгоживущих радионуклидов в экосистемах Семипалатинского полигона // Материалы 2-ой Международной конференции: Ядерная и радиационная физика. Том 2: Радиационная физика твердого тела и радиоэкология. – г. Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 1999.
10. Шишков И.А., Берикболов Б.Р., Буркитбаев М.М. Радиоэкологическая обстановка в Казахстане / Труды международной конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения». г. Курчатов, 2003.

11. Шишков И.А. Мендыгалиев А.С., Ефремов Г.Ф. Радиологическое картирование природных вод методом корреляции урана-238 с комплексом естественных радионуклидов. Материалы III международной конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности. Алматы, 2005.
12. Skippud L., Stormman G., Gavert T., Burkitbayev M., Shishkov I.A., Tolongutov B.M., and Salbu B. «TENORM and metal contamination of selected uranium mining and tailing sites in Kazakhstan». International Conference on Radioecology. Environmental Radioactivity, 15-20 June 2008, Bergen, Norway. Ref. Type: In Press.

Таблица 1

Вариации радионуклидного состава подземных вод

Зональность	Диапазоны вариаций объемной активности (Бк/дм ³) радионуклидов (max-min)/среднее						
	$A_{\Sigma\alpha}$	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²²² Rn	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	²³⁰ Th
Зоны пластового окисления	<u>1,9 - 149</u> 2,4	<u>1,4 - 46</u> 5,1	<u>0,1 - 0,8</u> -	<u>10 - 5400</u> 330	<u>0,2 - 1,8</u> 0,4	<u>0,3 - 12</u> 1,6	<u>0,01</u> -
Сероцветные проницаемые породы	<u>0,6 - 14</u> 1,8	<u>0,4 - 3,8</u> 0,7	<u>0,3 - 0,8</u> 0,5	<u>2 - 20</u> 8	<u>0,2 - 0,5</u> 0,2	<u>0,3 - 2,5</u> 0,4	<u>0,007</u> -
УВ^{вода} (НРБ-99)	0,10	0,50	0,20	60	0,12	0,20	0,66

Таблица 2

Распределение техногенных радионуклидов в вертикальном почвенном разрезе Семипалатинского ядерного полигона (Опытное поле)

Интервал отбора проб, см	Удельная активность (Бк/кг) радионуклидов				
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Данные радиографии и электронной микроскопии
0 – 5	2061	68	1325	701	Pu и Sr находятся в почве в труднорастворимых формах в виде микроскопических радиоактивных частиц на поверхности более крупных (до 0,5 мм) сфероидов
5 – 10	180	9	183	209	
10 – 15	120	7	175	≤ 5	
15 – 20	10	1	123	≤ 5	