

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИИССЫККУЛЬЯ

В статье представлены результаты радиобиогеохимических исследований по определению естественных радионуклидов в объектах окружающей среды природно-техногенных экосистем Прииссыккулья.

По оценкам ученых биогеохимиков и геохимиков, Ысык-Кульская котловина является естественной урановой биогеохимической провинцией. Мощность естественного радиационного фона по гамма излучению в регионе составляет от 13 до 23 мкР/ч местами до 40 мкР/ч. Наблюдается, что по мере удаления от озера в сторону гор, уровень естественного радиационного фона повышается, но не значительно. Так, если в районах берега озера его уровень составляет 13-15 мкР/ч, то на удалении примерно в 5-6 км в сторону гор, уровень естественного радиационного фона возрастает до 40 мкР/час, особенно в некоторых горных местностях, ущельях, прибрежных заболоченных участках дающие повышенный радиационный фон. К таким участкам можно отнести берег с. Тосор – 40-50 мкР/ч, берег западнее 10 км с. Каджи-Сай – 38-40 мкР/ч, берег около с. Тору-Айгыр – 30 мкР/ч, берег около с. Тамчи – 40-50 мкР/ч. Необычным местом с точки зрения радиэкологических исследований являются ториевые пески пляжа села Жениш, расположенные на южном берегу озера Ысык-Куль, их радиоактивность составляет 30 - 60 мкР/час, реже в отдельных точках доходит до 350 мкР/час. Горные местности, ущелья, основу которых составляет гранит, скальный грунт, красный песок дают повышенный естественный радиационный фон от 25-40 мкР/ч. К таким ущельям можно отнести: Чычкан, Курган-Сай, Курга, Ак-Терек, Чон-Жаргылчак, Сутту-Булак, Тосор, Жон-Булак, Кекелик, Тон, Чок-Тал, Бактуу-Долоноту, Сөгөтү. Вероятно, вариации радиационного фона связаны с неоднородным распределением естественных радиоактивных элементов в земной коре региона [1,2,3].

Данные по урану. Исследованиями В.В. Ковальского с соавторами было установлено, что физико-географическое расположение и геологическое строение Ысык-Кульской котловины во многом определяют её как провинцию с повышенным содержанием естественного урана [4,5,6]. Выходы гранитов, наличие углисто-кремнистых сланцев, обогащенных ураном – определяют повышенное содержание урана и других естественных радионуклидов в объектах окружающей природной среды. Содержание урана в почвах региона варьирует в пределах от 2,8 до $12,7 \times 10^{-4}\%$. По данным А.П. Виноградова почвы бывшего Советского Союза содержат в среднем $1,9-9,3 \times 10^{-5}\%$. Так, например, чернозёмы Курского заповедника, которые принято считать эталонными почвами, содержат в среднем $7,4 \times 10^{-5}\%$. Если сравнить с данным эталоном, то содержание урана в почвах региона в 3,8-17,2 раз больше, чем в чернозёмных почвах России. Кларковое значение урана-238 в земной коре составляет 28,9 Бк/кг, средне мировые значения удельной активности урана-238 в почве варьируют в пределах 12,2 - 48,8 Бк/кг, кларк для почвы 25 Бк/кг, в почвах региона его удельная активность составляет 42,3 – 106,6 Бк/кг, что превышает кларковое значение 1,7 – 4,2 раз.

Данные по торию. Исследовано, что средняя концентрация тория во внешних слоях земной коры в три раза превышает концентрацию урана. По Виноградову в почвах Русской равнины содержание тория близко к геохимическому фону и составляет $6,0-8,0 \times 10^{-4}\%$. Результаты наших анализов показали, что в почвах региона содержание тория варьирует в пределах $11,7-84,1 \times 10^{-4}\%$, максимальные концентрации его обнаруживаются в пахотном горизонте светло - и темно-каштановых почв, а также в почвах горных чернозёмов. Степень обогащения почв региона торием составляет примерно 2,0-10,5 раз по сравнению с условным геохимическим фоном.

Данные по радю и калию. В природе радий находится в рассеянном состоянии. Он не входит в состав отдельных минералов, а широко распространен в виде включений во многих образованиях. Кларковое содержание радия в земной коре составляет $1 \times 10^{-11}\%$, а в почвах - $8 \times 10^{-11}\%$. В почвах радий обладает наибольшей миграционной способностью по сравнению с другими тяжёлыми естественными радионуклидами. По нашим данным, содержание радия в почвах региона варьирует в пределах $9,4-43,0 \times 10^{-11}\%$, что выше кларка примерно в 1,2-5,4 раз. Максимальные концентрации радия обнаруживались в светлокаштановых почвах. Средне мировые значения удельной активности радия-226 в почве варьируют в пределах 18,1 - 73,3 Бк/кг, кларк для почвы составляет 29 Бк/кг, в почвах региона его удельная активность составляет 59,4 - 111,7 Бк/кг, что превышает кларковые значения 2 - 3,8 раз.

Калий. Значительные вариации уровней радиоактивного фона могут быть вызваны также различными концентрациями в горных породах, почвах калия-40. Учитывая это, введено специальное понятие «калийный фон», отражающее вклад калия-40 в суммарное содержание радионуклидов. Результаты наших анализов показали, что содержание калия в почвах региона равномерное и составляет $0,68-2,47 \times 10^{-11}\%$, максимальные концентрации обнаруживаются в светло-каштановых почвах. Кларковое значение калия-40 в земной коре составляет 655 Бк/кг, кларк для почвы 370 Бк/кг, в почвах региона его удельная активность составляет 861 - 1012 Бк/кг, что превышает кларковое значение 2,3 - 2,7 раз.

Содержание естественных радионуклидов в сельскохозяйственных и дикорастущих растениях. Процесс поступления естественных радионуклидов в растения очень сложный и зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов. Установлено, что наиболее миграционноспособными естественными радионуклидами в звене почва-растение являются радий и уран, а наименее торий. В результате проведенных нами исследований выявлено, что в вегетативных органах и корнях радионуклиды накапливаются значительно больше, чем в репродуктивных частях растений (цветки соцветия, семена). Содержание урана в дикорастущих растениях для различных районов региона колеблется от $3,7 \times 10^{-6}\%$ до $5,1 \times 10^{-4}\%$. Отдельные виды растений, такие как горноколосник, астрагал Бородина, остролодочник, карагана бледнокорая, зайцегуб, эфедра промежуточная, гармала способны концентрировать уран от $3,6 \times 10^{-5}\%$ до $2,1 \times 10^{-4}\%$.

Вода. По данным разных авторов количество урана в водах рек Ысык-Кульской котловины составляет $n \times 10^{-6}$ г/л, во многих реках региона оно колеблется, в зависимости от времени года и места отбора, от $2,8 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ г/л, т.е. ключевые воды колодцев и рек Ысык-Кульской котловины содержат в 10, а в некоторых случаях и в 100 раз больше урана, чем воды районов черноземной и нечерноземной зон России. Многолетние исследования показывают, что удельная активность урана-234/238 в речной воде равномерное и составляет 1,08-1,62 Бк/л. Повышенное содержание урана в оз. Ысык-Куль не является чем-то уникальным. Например, в Аральском и Каспийском морях - континентальных водоемах, расположенных в районе с сухим климатом, наблюдаются аналогичные концентрации урана в воде. Разные части Ысык-Куля имеют разное содержание урана в воде, что обусловлено неравномерностью процессов испарения и опреснения, происходящих в разных частях прибрежных зон Ысык-Куля. В среднем воды Ысык-Куля содержат $3,0 \times 10^{-6}$ % урана, удельная активность урана-234/238 составляет 1,69 - 1,79 Бк/л. Это на порядок больше, чем содержание урана в морской воде (10^{-7} %) и на один - два порядка больше, чем среднее содержание урана в реках и пресных озерах (от 10^{-8} до $n10^{-7}$ %). Содержание урана в илах озера Ысык-Куль на 1,5-2 порядка превышает кларковые концентрации. Повышенное содержание урана в илах связано с непосредственной сорбцией комплексов ионов урана органическим веществом. Чем больше органического вещества в илах, тем больше в нем содержится урана. Из водорослей больше всего концентрируют уран водоросли из семейства харовых, на сухое вещество которых приходится в 1000 раз больше урана, чем содержится его в подстилающих илах. Среди бентоносных организмов больше всего его накапливают

моллюски. В целом, организмы бентоноса и планктона содержат на порядок меньше урана, чем водоросли, так как у животных организмов накопление урана происходит, опосредовано - через пищу. Существуют различия в содержании урана у одних и тех же видов рыб, взятых в одних и тех же биогеоценозах. Промысловые рыбы озера Ысык-Куль содержат в среднем по четырем биогеоценозам следующие количества урана на сухое вещество: *Leuciscus bergi* (чебачок) - $3.4 \times 10^{-5}\%$, *Leuciscus Schmidt* (чебак) - $2.7 \times 10^{-5}\%$. Общей закономерностью для всех рыб - является еще меньшее концентрирование урана по сравнению с организмами бентоноса. С удлинением пищевой цепи увеличивается отсеивание урана - уменьшается градиент его накопления.

Локальные места с повышенным радиационным фоном (1.Техногенная урановая провинция Каджи-Сай).

Техногенная урановая провинция Каджи-Сай расположена на южном берегу озера Ысык-Куль, в Тонском районе, в 270 км от г. Бишкек. Горнорудный комбинат министерства среднего машиностроения СССР по переработке урановой руды функционировал с 1948 по 1969 гг., в последствии он был преобразован в электротехнический завод. В этой провинции оксид урана извлекался нетрадиционным способом, из золы бурых урансодержащих углей Согутинского месторождения. Уголь, добываемый на местной шахте подземным способом, предварительно сжигался с попутной выработкой электроэнергии, а затем оксид урана извлекался кислотным выщелачиванием из золы. Отходы производства и промышленное оборудование были захоронены, образовав хвостохранилище, с общим объемом урановых отходов 400 тыс. м³. Хвостохранилище находится в 2,5 км к востоку от жилого посёлка Каджи-Сай и состоит из двух частей, одна половина застроена хозяйственными постройками электротехнического завода, а на другой части расположен золоотвал, создающий дополнительную нагрузку хвостохранилищу. В настоящее время хвостохранилище и защитная дамба под влиянием природных и антропогенных воздействий начали разрушаться. Бывший рудник Каджи-Сай, подвергается размыву паводками и селями, которые приводят к выносу радиоактивных материалов на поверхность. Радиометрической съемкой установлено, что уровень радиации в самом поселке Каджи-Сай и примыкающей к нему территории, сравнительно невысокий 18-40 мкР/час. Однако на отдельных участках разрушения изоляционного слоя и дамбы хвостохранилища радиационный фон достигает до 1800 мкР/час, что требует особого внимания, так как последующие селевые явления приведут к смыву радиоактивных частиц в акваторию уникального высокогорного озера Ысык-Куль. Анализ образцов почвы и грунтов показал, что на хвостохранилище в верхнем горизонте насыпного грунта (0-20 см) содержание урана колеблется от 1,1 до $2,6 \times 10^{-3}$ г/кг, с глубиной он несколько возрастает до $3,0 \times 10^{-3}$ г/кг. Большую концентрацию урана имеет средняя зона хвостохранилища, где содержание урана в верхнем горизонте грунта равно $4,2 \times 10^{-3}$ г/кг, а в нижнем горизонте, на глубине 40-60 см – $35,0 \times 10^{-3}$ г/кг или в 8,3 раз выше. При анализе также обнаружены другие естественные радиоактивные элементы: торий в концентрации от 18 до 72×10^{-3} г/кг и радий в пределах 10×10^{-3} г/кг. Выявлена повышенная удельная активность, превышающие кларковые значения в несколько раз следующих радионуклидов: урана-238 - 851,6 Бк/кг, радия-226 – 3789,6 Бк/кг, свинца-214 - 2946,1 Бк/кг, висмута-214 - 2675,8 Бк/кг, свинца-210 - 3337,2 Бк/кг, актиния-228 – 97,7 Бк/кг, радия-224 – 146,2 Бк/кг, свинца-212 – 109,4 Бк/кг, висмута-212 – 87,4 Бк/кг, таллия-208 – 97,9 Бк/кг, урана-235 – 39,5 Бк/кг, тория-227 – 162,9 Бк/кг. Удельная активность общего урана в воде ручья протекающего вблизи хвостохранилища составляет 4,2-10,2 Бк/кг, что выше в сравнении с водой озера Ысык-Куль в 2 - 5 раз, а в сравнении с р. Кичи-Ак-Суу и р. Булан-Сегету в 40 – 100 раз. Однако нужно отметить, что ручей не всегда доходит до озера и только в весенние и осенние периоды имеется вероятность попадания загрязнённой воды. Наши анализы проводились до и после дождя, результаты показали, что по уровню и изотопному составу особых различий не обнаружено.

В настоящее время поверхность хвостохранилища является открытой, территория ограждена железобетонным забором, однако имеется доступ населения и скота. Серьезной

проблемой может стать распыление радиоактивного материала с поверхности хвостохранилища. При анализе проб атмосферного воздуха зоны хвостохранилища в аэрозолях были обнаружены следующие радионуклиды: уран-238 - $3,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, радий-226 - $3,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, свинец-210 - $75,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, торий-228 - $1,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³.

Растительность провинции характеризуется следующими ассоциациями: ксерофитно-кустарниковыми, полынно-эфимеровыми пустынями, колючеподушечниками (аканталимон алатавский, вьюнок трагакантовый). Растительный покров разрежен, проектное покрытие колеблется от 5 до 10% и лишь на отдельных участках до 50%. Содержание урана в различных видах полыни (*Artemisia*) в районе хвостохранилища сравнительно не высокое по отношению к региону в целом - $0,03-0,04 \times 10^{-6}$ г/г. Представители бобовых (*Salicaceae*) - астрагал (*Astragalus*) и донник (*Melilotus*) содержат до $0,09 \times 10^{-6}$ г/г, тогда как у злаковых (*Poaceae*) - костер кровельный (*Bromus tectorum*) урана содержится в два раза больше до $0,17 \times 10^{-6}$ г/г. По данным Быковченко Ю. данные виды растений могут служить в качестве фитомелиорантов для реабилитации хвостохранилища. По результатам наших исследований, процентное содержание урана, в растениях провинции "Каджи-Сай" составляет от 0,17 до $4,0 \times 10^{-4}$ %. Следовательно, есть основания говорить, что большинство растений каджи-сайского региона имеют повышенное содержание урана по сравнению с другими территориями региона. Произрастание растений в среде с повышенной концентрацией урана не только сопровождается изменением их биопродуктивности, но и вызывает некоторую морфологическую изменчивость, в частности: у астрагала наблюдается расщепление листовой пластинки, у цветков гармалы вместо обычных 5 лепестков было отмечено 6-7 и частичное их раздвоение, у черного колосника наблюдаются значительные морфологические изменения - низкорослые формы с ветвистыми соцветиями вместо прямой одиночной стрелки.

Локальные места с повышенным радиационным фоном (2. Цех № 7 по производству уранового концентрата).

Другая территория имеющая также техногенный характер - Цех № 7. На берегу озера Ысык-Куль в живописном заливе Кольцовка был построен в 1955 году научно-производственный Цех № 7 по производству урана из воды. Выбор пал не случайно. Предварительно проведенные исследования установили, что в заливе имеются мощные подводные течения. Идея получения урана из воды была весьма заманчива. Построенный цех включал в себя помимо двухэтажного лабораторного корпуса и административных зданий также большие по площади и объему бассейны, соединенные между собой сложными подземными коммуникациями. Технология получения урана из Ысык-Кульской воды была очень проста - закачивали насосами иссык-кульскую воду в бассейны, смешивали с различными реагентами, которые осаждали уран из воды, а потом с помощью особой фильтрации получали урановый концентрат. Но не все шло так гладко. Уранового концентрата Цех № 7 получал очень мало. Да и к тому же концентрат имел высокую себестоимость за счет большого расхода дорогостоящего гидрата меди и электроэнергии. От этой технологии вскоре пришлось отказаться. С 1956 по 1957 годы на смену старой технологии химического осаждения урана из воды пришла новая технология, основанная на ионном обмене с использованием ионообменных смол. Но и она также претерпела изменения. С 1957 года до самого закрытия объекта отрабатывалась технология селективного извлечения урана из воды с помощью новых модификаций синтетических смол.

Синтетические смолы требовали досконального изучения селективных свойств на уран. Для этого в металлический контейнер, мелкоячеистой сеткой и помещались модификации синтетических смол, контейнер на металлическом тросе прикреплялся к корме катера. Катер, двигаясь по заливу, способствовал более активному сорбированию урана смолами. При этом изучались многие параметры, такие как время насыщения смол ураном, равновесная концентрация урана в воде - уран в синтетической смоле и т. п. И все-таки промышленная установка по добыче урана на озере Ысык-Куль так и не состоялась. Этому помешало открытие ряда крупных урановых месторождений на

территории СССР, а также высокая себестоимость получаемого из Ысык-Кульской воды уранового концентрата. Не менее важным было учитывать и трудно предсказуемые экологические последствия, которые неминуемо могли бы проявиться в этом проекте. Все это склонило чашу весов в пользу добычи урана предприятиями горнорудной промышленности. В 1982 году Цех № 7 был закрыт. Слаборадиоактивный шлам (50 мкр/час) был вывезен на Каджи-Сайское хвостохранилище [8]. В 1993 году МГП "Гера" проводила обследование Цеха № 7 на предмет его радиационной безопасности. Повышенная радиоактивность в некоторых местах территории (до 180 мкр/час), была связана с разбросанным по территории шлаком. Также в здании лабораторного корпуса отмечалось повышение радиоактивности до 267 мкр/час. Повторные радиэкологические обследования были проведены здесь клубом "Агат" в 1996 году. При этом было выявлено всего две радиоактивные точки в здании лабораторного корпуса, не превышающие 60 мкр/час.

Таким образом, проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Физико-географическое расположение и геологическое строение Ысык-Кульской котловины во многом определяют её как провинцию с повышенным содержанием естественного урана.

2. Выходы гранитов, наличие углисто-кремнистых сланцев, обогащенных ураном, определяют повышенное содержание урана в объектах окружающей природной среды (горные породы, почва, вода, растительность).

3. Мощность естественного радиационного фона по гамма-излучению в регионе составляет от 13 до 23 мкР/ч. Наблюдается, что по мере удаления от озера в сторону гор, уровень естественного радиационного фона повышается, особенно в горных местностях, основу которых составляет гранит, скальный грунт, красный песок, дающие повышенный естественный радиационный фон от 25-40 мкр/ч и на некоторых прибрежных участках озера (ториевые пески).

4. Имеются территории с повышенным радиационным фоном техногенного характера (урановая техногенная провинция Каджи-Сай, Цех № 7).

5. Загрязнения территории Прииссыккулья искусственными радионуклидами (стронцием-90 и цезием-137) не обнаруживаются.

Литература

1. Абдуллаев М.А., Алиев Дж.А. Миграция искусственных и естественных радионуклидов в системе почва-растение. – Баку: Элм, 1998. - 240 с.

2. Алексахин Р.М. Сельскохозяйственная радиэкология. – М.: Экология, 1991. - 224 с.

3. Быковченко Ю. Г. Быкова Э. И. Белеков Т. Б. и др. Техногенное загрязнение ураном биосферы Кыргызстана. – Бишкек, 2005. -169 с.

4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почве. – М.: Издательство АН СССР, 1957. -289 с.

5. Дженбаев Б.М. Геохимическая экология наземных организмов. -Б., 2009. – 242с.

6. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С., Никитина Е.В. Урановые биохимические пищевые цепи в условиях Ысык-Кульской котловины. // Труды Биохимической лаборатории. -М.: Наука, 1968, XII. -С. 25-53.

7. Матыченков В.Е., Тузова Е.В. Устойчивость изотопного состава урана в водах Ысык-Кульского бассейна. Изучение гидродинамики оз. Ысык-Куль с использованием изотопных методов. –Б.: Ч.1. 2005. С.133-137.

8. Чарский В.П., Хусаинов М.М. Каджи-Сай. История одного предприятия. Экологический информационный бюллетень. //Ветеринария.1998, № 3. -26-31 с.Djenbaev B.M., Jalilova A.A.,Abdijapar uulu Salamat, Shamshiev A.B., Jolboldiev B. Radiation assessment in biosphere territories of the Issyk-Kul. 4th CCMS/NATO Workshop on «Management of Industrial Waster and Substances Research», Greece, Ioannina, 2006, P. 11-17.