

## ЭКОЛОГО-РАДИОБИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИИССЫККУЛЬЯ

Иссык-Кульская котловина является уникальным природным комплексом, со своеобразными климатическими условиями, богатым биоразнообразием флоры и фауны. Исследованиями В.В. Ковальского с соавторами было установлено, что физико-географическое расположение и геологическое строение котловины во многом определяют ее как провинцию с повышенным уровнем естественного урана, образовавшуюся за счет рассеяния урана из выветренных горных пород и гранитов, и аккумуляции его в осадочных породах. Выходы гранитов, наличие углисто-кремнистых сланцев, обогащенных ураном, определяют повышенное содержание урана и других естественных радионуклидов в объектах окружающей природной среды [1]. Ионизирующие излучения в биосфере, происхождение которых связано с естественными радиоактивными элементами, составляет один из важнейших компонентов в сложном комплексе факторов, постоянно воздействующих на живые организмы и их сообщества, что характерно и для условий данного региона. Наши исследования показали, что мощность естественного радиационного фона по гамма -излучению в регионе составляет от 13 до 23 мкР/ч местами до 40 мкР/ч. Наблюдается то, что по мере удаления от озера в сторону гор уровень его повышается, но не значительно. Так, например, если в районах берега озера он варьирует в пределах 13-15 мкР/ч, то на удалении примерно в 5-6 км в сторону гор, его уровень возрастает до 40 мкР/час, особенно в некоторых горных местностях, ущельях, прибрежных заболоченных участках. Вероятно, вариации естественного радиационного фона связаны с неоднородным распределением тяжелых естественных радионуклидов в земной коре.

Содержание естественных радионуклидов в почве. Для Иссык-Кульской котловины характерна пестрота почвенного покрова, которая обусловлена разнообразием осадочных пород, выстилающих котловину, особенностями климата, различием гидротермических условий высотных и широтных поясов, а также характером растительного покрова склонов хребтов, предгорий и подгорных равнин [2,3,4].

**Уран.** Результаты наших исследований показали, что в зависимости от типа почв в регионе содержание урана варьируется 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  $7,4 \times 10^{-5}\%$  [5]. Если сравнить с данным эталоном, то содержание урана в почвах региона в 3,8-17,2 раз больше, чем в чернозёмных почвах России. Удельная активность изотопа урана-234 в почве составила от 42,3 до 106,6 Бк/кг, что выше кларкового значения (25 Бк/кг) в 1,7 – 4,3 раз.

**Торий.** 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  $6,0-8,0 \times 10^{-5}\%$  [5]. 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.

**Радий.** 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 -  $8 \times 10^{-11}\%$  [5]. В почвах радий обладает наибольшей миграционной способностью по

сравнению с другими тяжёлыми естественными радионуклидами. По нашим данным, содержание радия в почвах региона варьируется в пределах  $9,4-43,0 \times 10^{-11} \%$ , что выше кларка примерно в 1,2-5,4 раза. Максимальные концентрации радия обнаруживались в светлокаштановых почвах. Удельная активность радия-226 в почве варьировала в пределах от 59,4 до 111,7 Бк/кг, что выше среднемировых значений (29,2 Бк/кг) в 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 [5]. 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. Удельная активность калия-40 в почве составила от 861 до 1012 Бк/кг, что выше кларкового значения (370 Бк/кг) в 2,3 – 2,7 раз.

Содержание естественных радионуклидов в растениях. Процесс поступления естественных радионуклидов в растения очень сложный и зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов. Установлено, что наиболее миграционно-способными естественными радионуклидами в звене почва-растение являются радий и уран, а наименее - торий. 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  $2,1 \times 10^{-4} \%$ .

Содержание естественных радионуклидов в воде. По данным разных авторов количество урана в водах рек Иссык-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. они содержат в 10, а в некоторых случаях и в 100 раз больше урана, чем воды районов черноземной и нечерноземной зон России. В среднем в воде озера Иссык-Куль содержится  $3,0 \times 10^{-6} \%$  урана, 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  $n \times 10^{-8}$  до  $n \times 10^{-7} \%$ ). Повышенное содержание урана в оз. Иссык-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 зоны озера Иссык-Куль имеют различное содержание урана в воде, что обусловлено неравномерностью процессов испарения и опреснения, происходящих в прибрежных зонах озера. В среднем воды Иссык-Куля содержат  $3,0 \times 10^{-6} \%$  урана. Это на порядок больше, чем содержание урана в морской воде ( $n \times 10^{-7} \%$ ) и на один - два порядка больше, чем среднее содержание урана в реках и пресных озерах (от  $n \times 10^{-8}$  до  $n \times 10^{-7} \%$ ). Содержание урана в донных отложениях озера Иссык-Куль на 1,5-2 порядка превышает кларковые концентрации. Повышенное содержание урана в них связано с непосредственной сорбцией комплексов ионов урана органическим веществом. 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 донных отложениях. Среди бентоносных организмов больше накапливают урана 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. Наблюдается концентрирование урана организмами и илами в зависимости от содержания его в воде. Промысловые рыбы озера Иссык-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 бентонаса. С удлинением пищевой цепи увеличивается отсеивание урана - уменьшается градиент его накопления.

Следует отметить, что в регионе имеются места техногенного характера, требующие особого внимания, одной из которых является техногенная урановая провинция Каджи-Сай [8,9]. Горнорудный комбинат министерства среднего машиностроения СССР по переработке урановой руды функционировал с 1948 по 1969 гг., впоследствии он был преобразован в электротехнический завод. В этой провинции оксид уран извлекался не традиционным способом, из золы бурых ураносодержащих 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. м<sup>3</sup>. В настоящее время хвостохранилище и защитная дамба под влиянием природных и антропогенных воздействий постепенно разрушаются, подвергаясь размыву паводками и селями, которые приводят к выносу радиоактивных материалов на поверхность. В отдельных участках разрушения изоляционного слоя и дамбы хвостохранилища радиационный фон достигает до 1300 мкР/час, что требует особого внимания, так как последующие селевые явления приведут к смыву радиоактивных частиц в акваторию уникального высокогорного озера Иссык-Куль. В образцах грунта хвостохранилища содержание урана колеблется от 1,1 до  $2,6 \times 10^{-3}$  г/кг, с глубиной его концентрация несколько возрастает до  $3,0 \times 10^{-3}$  г/кг. При анализе также обнаружены другие естественные радиоактивные элементы, имеющие высокую удельную активность: уран-234 - 851,6 Бк/кг, радий-226 – 3789,6 Бк/кг, свинец-214 - 2946,1 Бк/кг, висмут-214 - 2675,8 Бк/кг, свинец-210 - 3337,2 Бк/кг. Территория хвостохранилища ограждена железобетонным забором, однако, доступ населения и скота остается открытым. Серьезной проблемой может стать распыление радиоактивного материала с открытой поверхности хвостохранилища и перенос его на близлежащие территории. Процентное содержание урана в растениях техногенной провинции составляет от 0,17 до  $4,0 \times 10^{-4}\%$ , то есть они имеют повышенное содержание урана по сравнению с другими зонами Прииссыккулья. Произрастание растений в среде с повышенной концентрацией урана не только сопровождается изменением их биопродуктивности, но и вызывает морфологическую изменчивость в частности: а) у астрагала выявлено расщепление листовой пластинки, б) у цветков гармалы вместо обычных 5 лепестков было отмечено 6-7 и частичное их раздвоение. в) у черного колосника наблюдаются значительные морфологические изменения – низкорослые формы с ветвистыми соцветиями вместо прямой одиночной стрелки.

Другая территория, имеющая также техногенный характер - Цех № 7. На берегу озера Иссык-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. Он и сейчас стоит в бездействии и часть которого разобрано. Технология получения урана из Иссык-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 обрабатывалась технология уже селективного извлечения урана из воды также с помощью новых модификаций синтетических смол. Новая партия синтетических смол требовала досконального их 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, 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 Иссык-Куль так и не состоялась. Этому помешало открытие ряда крупных урановых месторождений на территории СССР, а также высокая себестоимость получаемого из Иссык-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. Слаборadioактивный шлам (50 мкр/час) был вывезен на Каджи-Сайское хвостохранилище [9]. На сегодняшний день данный объект с точки зрения радиационной безопасности не представляет окружающей природной среде потенциальную опасность.

Малые участки с повышенным естественным радиационным фоном:

1. Необычным местом с точки зрения радиэкологических исследований являются ториевые пески пляжа села Жениш, расположенные на южном берегу озера Иссык-Куль. Их радиоактивность составляет 30 - 60 мкР/час, реже в отдельных точках доходит до 420 мкР/час. Результаты исследований показали наличие в пробах песка следующих радионуклидов, удельная активность которых составила: радий-228 –  $4173,3 \pm 72,1$  Бк/кг, торий-228 -  $4087 \pm 87,9$  Бк/кг, уран-239 – 425 Бк/кг, радий-226 -  $296 \pm 16,0$  Бк/кг. Уровень интегральной активности альфа и бета излучающих радионуклидов составил по альфа -  $88700 \pm 9200$  Бк/кг, по бета -  $14700 \pm 1500$  Бк/кг.

2. Небольшие участки прибрежной полосы озера Иссык-Куль 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.

3. Горные местности, ущелья, основу которых составляет гранит, скальный грунт, красный песок дающие повышенный естественный радиационный фон от 25-40 мкр/ч. К таким ущельям относятся: Чычкан, Курган-Сай, Курга, Ак-Терек, Чон-Жаргылчак, Сутту-Булак, Тосор, Жон-Булак, Кекелик, Тон, Чок-Тал, Бактуу-Долоноту, Сөгөтү.

Учитывая то, что Иссык-Кульская котловина является естественной урановой биогеохимической провинцией, в регионе необходимо проведение радиобиогеохимических исследований по определению радионуклидов техногенного характера в объектах окружающей природной среды.

Содержание искусственных радионуклидов в почве. Удельная активность стронция-90 в почве составила 2,1-4,1 Бк/кг, при среднем значении 3,2 Бк/кг (ПДУ – 9 Бк/кг, НРБ-99). Удельная активность цезия-137 варьировала в пределах 3,8-7,9 Бк/кг, при среднем 6,1 Бк/кг (ПДУ – 15 Бк/кг, НРБ-99). Мы полагаем, что их природа связана с процессами глобальных выпадений, так как диапазон концентраций искусственных радионуклидов, обусловленных глобальными выпадениями в северном полушарии, составляет по стронцию-90 и цезию-137 не более 30 Бк/кг (Лукашенко, Каширский и др., 2009).

Содержание искусственных радионуклидов в растениях. При поступлении данных радионуклидов из почв у зерновых колосовых культур отмечается более интенсивное накопление их в вегетативных частях растений по сравнению с репродуктивными органами. Количество стронция-90 в зерне озимой пшеницы составило 0,15 – 0,26 Бк/кг, в соломе от 2,45 до 3,12 Бк/кг. Содержание цезия-137 в зерне пшеницы изменялось в пределах от 0,10 до 0,23 Бк/кг, а в соломе 2,05 – 2,56 Бк/кг. Наблюдаемые колебания

удельной активности стронция-90 и цезия-137 связаны с различиями в физико-химических и агрономических свойствах почв, с неодинаковым содержанием в них данных радионуклидов, а также с сортовыми особенностями пшеницы. Аналогичное накопление радионуклидов характерно для ярового ячменя как в вегетативных, так и репродуктивных частях растения. Содержание стронция-90 и цезия-137 в растениях семейств бобовых – эспарцет, люцерна выше примерно на два порядка, чем в зерновых колосовых культурах. Более низкие концентрации радионуклидов отмечены в початках кукурузы. Для картофеля накопление радионуклидов в хозяйственно ценной части урожая (клубнях) в 3-4 раз ниже, чем их аккумуляция в ботве. Содержание стронция-90 в дикорастущих видах растений (Полынь тянь-шаньская, Типчак валезийский, Одуванчик, Подорожник ланцетный, Гармала обыкновенная, Ахнатурум блестящий, Карагана белокорая, Эфедра средняя, Тростник обыкновенный, Солодка голая, Тимофеевка степная, Ковыль волосатик) варьировало в пределах 2,1-3,1 Бк/кг, при среднем 2,6 Бк/кг. Допустимые уровни удельной активности стронция-90 в дикорастущей растительности составляют 111 Бк/кг [НРБ-99]. Содержание цезия-137 в перечисленных видах дикорастущих растений Прииссыккуля составило 1,9-2,8 Бк/кг, в среднем 2,3 Бк/кг, при допустимых уровнях удельной активности цезия-137 в дикорастущей растительности - 74 Бк/кг (НРБ-99).

Содержание искусственных радионуклидов в воде. Результаты радиохимических анализов проб воды озера Иссык-Куль показали, что удельная активность искусственных радионуклидов ниже норм радиационной безопасности. Удельная активность стронция-90 в воде варьирует в пределах от 0,015 до 0,036 Бк/л, при нормативе - 5 Бк/л (НРБ-99). Удельная активность цезия-137 в воде варьируется в пределах от 0,043-0,065 Бк/л, при НРБ-99 - 11 Бк/л. В донных отложениях озера также были обнаружены низкие концентрации данных радионуклидов. Таким образом, результаты проведенных нами исследований не выявили наличия техногенного загрязнения территории Прииссыккуля искусственными радионуклидами (стронцием-90 и цезием-137). Их удельная активность в объектах окружающей природной среды региона находится в пределах фоновых значений.

#### **Литература:**

1. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С., Никитина Е.В. Урановые биохимические пищевые цепи в условиях Иссык-кульской котловины. //Труды Биохимической лаборатории. -М.: Наука, 1968, XII. -С. 25-53.
2. Айтматов И.Т., Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкологические проблемы в горнопромышленном комплексе Кыргызстана //Наука и новые технологии. – 1997. - № 1. –С.81-95.
3. Быковченко Ю. Г. Быкова Э. И. Белеков Т. Б. и др. Техногенное загрязнение ураном биосферы Кыргызстана. – Бишкек, 2005. 169 с.
4. Djenbaev V.M., Jalilova A.A., Abdijapar uulu Salamat, Shamshiev A.B., Jolboldiev V. Radiation assessment in biosphere territories of the Issyk-Kul. 4<sup>th</sup> CCMS/NATO Workshop on «Management of Industrial Waster and Substances Research», Greece, Ioannina, 2006, P. 11-17. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почве. – М.: Издательство АН СССР, 1957. 289 с.
6. Алексахин Р.М. Сельскохозяйственная радиоэкология. –М.: Экология, 1991. - 224 с.
7. Абдуллаев М.А., Алиев Дж.А. Миграция искусственных и естественных радионуклидов в системе почва-растение. – Баку: Элм, 1998. - 240 с.
8. Матыченков В.Е., Тузова Е.В. Устойчивость изотопного состава урана в водах Иссык-кульского бассейна. Изучение гидродинамики оз. Иссык-Куль с использованием изотопных методов. –Б., Ч.1. 2005. С. 133-137.
9. Чарский В.П., Хусаинов М.М. Каджи-Сай. История одного предприятия. Экологический информационный бюллетень. Ветеринария.1998, №3. 26-31 с. Нормы радиационной безопасности (НРБ - 99). 11. Лукашенко С.Н., Каширский В.В., Шатров А.Н.

Теоретическая оценка механизмов и уровней загрязнения северных территорий бывшего Семипалатинского испытательного полигона // 7-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика» 8-11 сентября 2009 г., -Алматы, 2009, С. 198.