

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

В статье представлены результаты радиохимических анализов проб воды, почвы, растительности и биоиндикационных исследований с техногенной геохимической провинции Каджи-Сай.

Исык-Куль – жемчужина Кыргызстана с уникальными природно-климатическими условиями. Его побережье давно привлекает внимание зарубежных туристов как курортная зона, имеющая мировое значение. Несмотря на благоприятную в целом радиационно-экологическую обстановку в Исык-Кульской котловине имеются места потенциального радиоактивного загрязнения. Характерным примером является пос. Каджи-Сай, где находится отработанное урано-угольное месторождение и хвостохранилище радиоактивных отходов.

Техногенная геохимическая провинция Каджи-Сай расположена на южном берегу оз. Исык-Куль на высоте 1978,9 м над уровнем моря.

Горнорудный комбинат Министерства среднего машиностроения СССР по переработке урановой руды здесь функционировал с 1948 по 1969 гг., впоследствии был преобразован в электротехнический завод. Следует отметить, что в этой провинции оксид урана извлекался не традиционным способом, а 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 состоит из двух частей, одна половина застроена хозяйственными постройками электротехнического завода, а на другой части расположен золоотвал, создающий дополнительную нагрузку хвостохранилищу.

В настоящее время Каджи-Сайское хвостохранилище и защитная дамба под влиянием природных факторов и антропогенных воздействий стали постепенно разрушаться. Бывший рудник Каджи-Сай, подвергается размыву паводками и селями, которые приводят к выносу радиоактивных материалов на поверхность.

Хвостохранилище с урановыми отходами находится в 2,5 км к востоку от жилого поселка, но из-за природных факторов (дождей, грунтовых вод, оползней и селей) представляет потенциальную опасность озеру Исык-Куль и ближайшим поселкам. После закрытия Каджи-Сайского горнорудного комбината масса не законсервированных радиоактивно-производственных отходов, встречающихся в пойме урочища Джиль-Булак, претерпела интенсивное разрушение: часть его сместилась в устье урочища. За последние 40 лет произошло интенсивное вздымание прибрежной части в районе промплощадки, образовались террасы в верховьях урочища Джиль-Булак. На террасах кое-где встречаются радиоактивно-производственные отходы - зольные материалы в смеси с галечником.

Территория посёлка Каджи-Сай имеет не высокий фон 18-22 мкр/ч. Общий фон в промышленной зоне несколько выше и составляет 38-40 мкр/ч. Места захоронения отходов урановых выработок дают 200-300 мкр/ч в отдельных точках. На очистных сооружениях промышленной зоны гамма-фон составляет 35-42 мкр/ч.

Вода. В Каджи-Сайской геохимической провинции, расположенной рядом с курортной зоной оз. Исык-Куль, содержание урана в воде имеет важное экологическое значение. Воды Исык-Куля в среднем содержат 3.0×10^{-6} % урана.

Таблица 1.

Место отбора пробы	Uranium (total) Bq l ⁻¹	²³⁴ U/ ²³⁸ U	Gross alpha Bq l ⁻¹
Каджи-Сай, ручей №1 до дождя	4,21±0,42	1,49±0,05	4,5
Каджи-Сай, ручей №2 до дождя	10,2±1,02	1,30±0,05	10,0
Оз. Иссык-Куль, пос. Каджи-Сай, устье реки	1,69±0,17	1,52±0,05	1,67

Из таблицы 1 видно: уровень общего урана в ручьях №1 и №2 Каджи-Сая (из хвостов), по сравнению с водой озера Иссык-Куль, больше в 2 – 5 раз, по сравнению с р. Кичи Ак-Суу и р. Булан-Сегету в 40-100 раз. Однако нужно отметить, что ручей из хвостов не всегда доходит до озера, только в весенние и осенние периоды он достигает озера. Как показали наши исследования - до и после дождя, не обнаружено особых различий по уровню и изотопному составу.

Почва. Почвенный покров провинции - светло-бурые почвы слабо гумусированные (0,8 - 2,0 %), с постепенным убыванием с глубиной [5]. Они обладают щелочной реакцией: в среднем рН равен 8,0-8,5 по всему почвенному профилю. Емкость поглощения почв – не высокая. В полуметровом слое она колеблется от 10,0 до 14,0 м/экв. на 100 г почвы. В почве и насыпном грунте провинции Каджи-Сай и прилегающих к ней территориях содержание урана составляет - $0,1 \cdot 10^{-6}$ г/г до $35,0 \cdot 10^{-6}$ г/г.

Анализ образцов почвы и грунтов показал, что в верхнем горизонте насыпного грунта хвостохранилища (0-20 см), содержание урана колеблется от 1,1 до $2,6 \cdot 10^{-6}$ г/г, с глубиной он возрастает – до $3,0 \cdot 10^{-6}$ г/г. Большую концентрацию урана имеет средняя зона хвостохранилища, где содержание урана в верхнем горизонте грунта равно $4,2 \cdot 10^{-6}$ г/г, а в нижнем - на глубине 40-60 см – $35,0 \cdot 10^{-6}$ г/г или в 8,3 раза выше.

Растительность провинции характеризуется следующими ассоциациями: ксерофитно-кустараниковыми, полынно-эфемеровыми пустынями, колючеподушечниками (акантолимон алатавский, вьюнок трагакантовый). Растительный покров разрежен, проективное покрытие колеблется от 5 до 10 % и лишь на отдельных участках – до 50%. На территории провинции выявлено 47 родов и 20 семейств.

Как показало обследование, эволюционный процесс растительного покрова хвостохранилища еще не закончен и находится в стадии становления. Растительность относительно "чистой зоны" представлена флорой строящегося пансионата "Хан-Сарай", находящегося в 1,5 км от Каджи-Сая. Поэтому растительность провинции несколько окультурена.

Содержание урана в различных видах полыни (*Artemisia*) на хвостохранилище – небольшое – 0,03-0,04 г/г, при низком $K_{обог}$ – 1,5 и высоком $K_{диск}$ = 120,0-160,0. Обладая долголетием и хорошо развитой корневой системой, эти растения могут служить, по данным Быковченко Ю. и др. (2005), в качестве фитомелиорантов для реабилитации хвостохранилища. Представители бобовых (*Salicaceae*) – астрагал (*Astragalus*) и донник (*Melilotus*) содержат до $0,09 \cdot 10^{-6}$ г/г урана при $K_{обог}$ = 4,5 и $K_{диск}$ = 53,3. Гармала (*Peganum Harmala*) в таких районах образует много махровых цветов с шестью-семью лепестками, вместо обычных пяти.

Исследованиями Ковальского В.В. и др. изучено содержания урана в породах, почвах, растениях, животных и рыбах Иссык-кульской котловины [4]. В исследованиях отмечено, что растения этого района обогащены ураном и содержат его $1,25 \cdot 10^{-5}\%$ - $2,1 \cdot 10^{-4}\%$ на сухое вещество или в 1,5-240 раз больше, чем растения Курского заповедника. По результатам наших исследований, процентное содержание урана, в растениях провинции "Каджи-Сай" составляет от 0,17 до $4,0 \cdot 10^{-4}\%$. Следовательно, есть основания говорить, что большинство растений каджи-сайского региона имеют повышенное содержание урана по сравнению с другими территориями. Произрастание растений в среде с повышенной

концентрацией урана не только сопровождается изменением их биопродуктивности, но и вызывает морфологическую изменчивость в частности:

а) У астрагала наблюдается 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.

г) У растений: карагана, шлемник, перовская, гармала наблюдается интенсивное развитие.

Рис. 1. Морфологически измененные формы - *Peganum garmala*



Рис. 2. Морфологические изменения цветов Ирисовые (Iridaceae) вид- *Iris songarica* Schrenk



В настоящее время в использовании метода биоиндикации при решении экологических проблем накоплен большой положительный опыт. Пыльца отличается высокой чувствительностью к действию отрицательных факторов и может являться индикатором радиационного воздействия. Нами были проведены исследования по фертильности и стерильности пыльцевых зерен одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) произрастающего в окрестностях техногенной провинции «Каджи-Сай».

Зоны исследования расположены в порядке удаления от хвостохранилища: 1) 10-20 м., 2) 25-40 м., 3) 70-100 м. В качестве контроля были выбраны природные популяции растений Каракольского природного парка, произрастающие в благоприятной радиационной обстановке (15--20 мкР/час). Результаты исследований представлены в таблице 2.

Процент abortивных пыльцевых зёрен

Таблица 2.

№	Количество просмотренных пыльцевых зерен	Число abortивных пыльцевых зерен	
		Число	%±m
Контроль	34274	359	1,05±0,003
№1 зона	58813	3575	6,08±0,0097
№2 зона	46645	2387	5,12±0,01
№3 зона	24682	597	2,42±0,0095

Рис.3. Процент abortивных пыльцевых зёрен

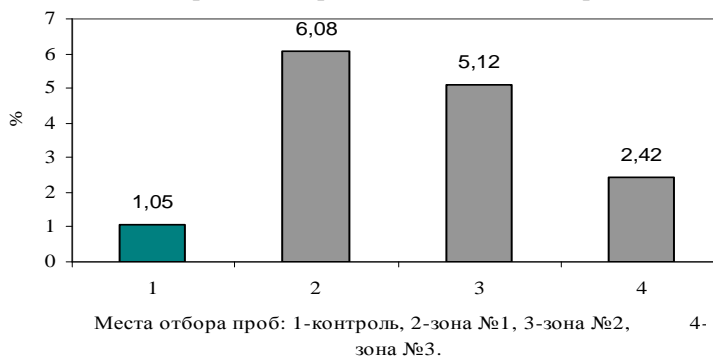


Рис.4. Нормальные пыльцевые зерна

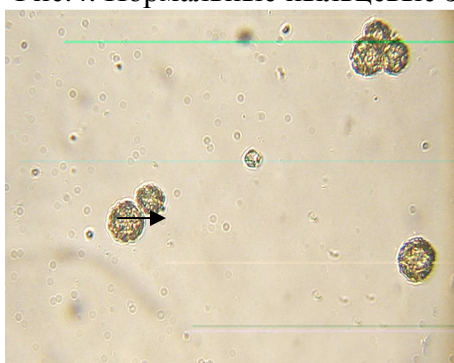
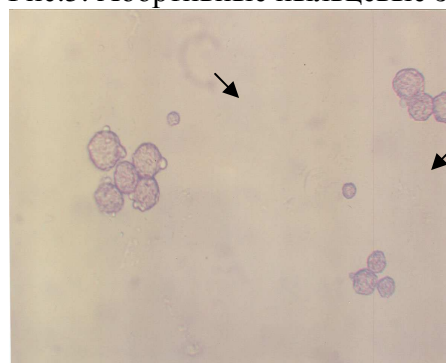


Рис.5. Abortивные пыльцевые зерна



Всего было просмотрено 164414 пыльцевых зерен. Процент abortивных пыльцевых зерен в контроле составил $1,05 \pm 0,003$, в зоне №1 - $6,08 \pm 0,009$ что статистически достоверно превышает спонтанный уровень нарушений в 5,7 раз ($P < 0,001$), в зоне №2 - $5,12 \pm 0,01$, в 4,8 раз ($P < 0,001$), в зоне №3 - $2,42 \pm 0,009$, в 2,3 раз ($P < 0,001$). В зависимости от уровня воздействия радиационного фактора наблюдается увеличение процента abortивных пыльцевых зерен в зоне исследования.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют, что в целом по изученной природно-техногенной провинции радиационный фон в настоящее время находится в пределах естественных значений, однако имеются локальные точки повышенного гамма фона на ограниченных участках территорий в районе хвостохранилищ, требующие более детальных радиоэкологических исследований.

Литература

1. Быковченко Ю. Г., Быкова Э.И., Белеков Т.Б. и др. Техногенное загрязнение ураном биосферы Кыргызстана. – Бишкек, 2005. -169 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почве. – М.: Изд-во: АН СССР, 1957. -289 с.
3. Дженбаев Б. М. Геохимическая экология наземно-водных организмов. - Бишкек, 1999. - 178 с.
4. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С., Никитина Е.В. Урановые биохимические пищевые цепи в условиях Иссык-кульской котловины. Труды Биохимической лаборатории. Изд-во «Наука», М., 1968, XII. С.25-53.
5. Мамытов А.М. Почвенные ресурсы и вопросы земельного кадастра Кыргызской Республики. - Бишкек: Кыргызстан, 1996. - 240 с.