

УДК 574.9 (575.2)

КалдыбаевБ.К., \*ДженбаевБ.М.

ИГУ им. К. Тыныстанова

\*Биолого-почвенный институт Национальной академии наук КР

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ БИОСФЕРНОЙ ТЕРРИТОРИИ «ИССЫК-КУЛЬ»

*В статье приведены результаты измерений мощности экспозиционной дозы радиационного фона, содержания радионуклидов в речных и озерной воде, почве и грунтах. Приведены результаты биоиндикационных исследований.*

В Кыргызстане имеется ряд природно-техногенных территорий, где необходимы комплексные радиобиогеохимические исследования. Одним из таких регионов является биосферная территория «Иссык-Куль», образованная в 2001 г., которая включает: котловину озера Иссык-Куль, хребты Терскей и Кунгей Ала-Тоо и сыртовые нагорья, расположенные между хребтами Терскей и Какшаал. Иссык-Кульская котловина расположена между хребтами Терскей и Кунгей Ала-Тоо на высоте 1600-1700 м над уровнем моря. По классификации географов представляет собой среднегорную впадину.

Основным источником урана в Иссык-Кульской котловине являются горные породы с повышенным его содержанием. При выветривании данных пород образуются легко подвижные соединения шестивалентного урана, которые концентрируются в гумусированных горизонтах почвы (А, В), а также обогащают растительный покров, воды рек котловины и озера Иссык-Куль ураном [1, 6, 4, 7, 10, 11].

Геохимические условия Иссык-Кульской котловины: выходы гранитов ( $3,9 \times 10^{-4}\%$ ), наличие углисто-кремнистых сланцев ( $1,07 \times 10^{-3}\%$ ), обогащенных ураном – определяют повышенное содержание урана в почвенно-растительном комплексе, в реках, впадающих в озеро и в воде оз. Иссык-Куль. По мнению ученых геохимиков и биогеохимиков, это является основой для выделения Иссык-Кульской котловины как естественной урановой биогеохимической провинции [4, 8].

В данной урановой провинции ранее (1948-1969 гг.) добывали урановые руды - на Каджи-Сайском участке, расположенном на южном берегу оз. Иссык-Куль. Учитывая слабую изученность и распределение радионуклидов в Иссык-Кульской биосферной территории и возросший интерес к данной проблеме, была поставлена цель - изучить радиоэкологические особенности современного состояния биосферной территории «Иссык-Куль».

**Материалы и методы.** В 2009-2012 гг. проведено комплексное обследование различных таксонов биосферы Иссык-Кульской котловины методами радиоэкологии и радиобиогеохимии, разработанными в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ГНУ ВНИИСХРАЭ и Биолого-почвенном институте НАН КР [2, 4, 6, 7, 10]. Были изучены наземные и водные экосистемы котловины озера Иссык-Куль: определен радиационный фон (экспозиционные дозы). Пробы отобраны в населенных пунктах, расположенных на побережье и в прибрежных участках. Для анализа были взяты пробы: воды рек и озера, почв и отдельные виды дикорастущих растений, всего обследовано более 920 образцов.

Оборудование, использованное в ходе исследований: комплект – дозиметр – радиометр ДКС-96 (Россия), жидкостно-сцинтилляционной спектрометр Triathler производства фирмы NIDEX (Финляндия), гамма-спектрометр Canberra (США), состоящий из германиевого детектора HPGe и др., спутниковый прибор для определения координат. Распределение и обработка полученных данных производились на

персональном компьютере с помощью специального пакета программ (Matlab 6.5.) [2, 4, 7].

**Результаты.** Радиометрической съемкой установлено, что уровень радиации в Иссyk-Кульской биосферной территории сравнительно невысокий и колеблется от 15 до 47 мкР/час. Поскольку данная котловина является естественной урановой биогеохимической провинцией, на отдельных её участках имеются места с повышенным радиационным фоном. Так, например, в россыпях торийевых песков южного берега в районе с. Джениш и с. Ак-Терек, где экспозиционная доза варьирует от 30 до 60 мкР/час, реже 100-120, местами в отдельных точках доходит до 420 мкР/час (рис. 1).

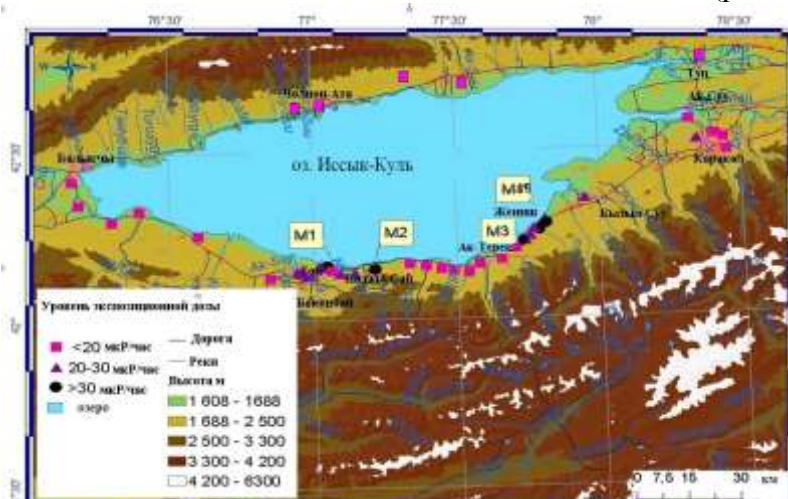


Рис. 1. Карта оз. Иссyk-Куль и уровня экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения.

Как показано в таблице 1 температура и давление воздуха, а также рН воды практически не меняется во всех участках, но температура воды в восточной и юго-восточной части котловины немного снижается, а влажность повышается до 10%. Гамма-фон на поверхности почвенного покрова и на высоте одного метра от поверхности меняется в 2 - 3 раза.

**Техногенный урановый участок Каджи-Сай** расположен на южном побережье оз. Иссyk-Куль, в Тонском районе, в 270 км от столицы Кыргызстана - города Бишкек, на высоте 1978,9 м над уровнем моря. Площадь его территории составляет 31,5 км<sup>2</sup>. Горнорудный комбинат Министерства среднего машиностроения СССР по переработке урановой руды функционировал здесь с 1948 по 1969 гг., впоследствии был преобразован в электротехнический завод. Следует отметить, в данной провинции оксид урана извлекался из золы уран содержащих бурых углей Согутинского месторождения. Уголь, добываемый на местной шахте подземным способом, предварительно сжигался с попутной выработкой электроэнергии, затем оксид урана извлекался кислотным выщелачиванием из золы. Отходы уранового производства и промышленное оборудование Каджи-Сайского горнорудного комбината захоронены в хвостохранилище. Общий объем отходов - 400 тыс. м<sup>3</sup>, на площади 10,8 тыс. м<sup>2</sup>. Хвостохранилище расположено в 2,5 км восточнее жилого поселка, в 1,5 км от берега озера (Рис.2, 3). Дожди, грунтовые воды, оползни и сели - существенная экологическая угроза озеру Иссyk-Куль и ближайшим поселкам [4, 7, 12, 13].

Таблица 1. Радиационно-дозиметрическое обследование поверхности Иссyk-Кульской котловины.

Места отбора	Дав-	Влаж-	Т-ра	Т-ра	Гамма-фон
--------------	------	-------	------	------	-----------

	ление	ность	воз- духа	воды	pH	на поверх. почв	на высоте 1 м
Пос. Кара-Ой	709 мм рт. ст.	35%	22 °С	18,5 °С	8,5	15-20 мкР/час	10 мкР/час
г. Чолпон-Ата	709 мм рт. ст.	35%	22 °С	18,5 °С	8,15	20 мкР/час	15-17 мкР/час
Пос. Булан-Соготу	709 мм рт. ст.	38%	22 °С	17,5 °С	8,15	15 мкР/час	10 мкР/час
р. Кичи Ак-Суу	709 мм рт. ст.	44%	22 °С	13,2 °С	7,94	16 мкР/час	13-15 мкР/час
р. Тюп	702 мм рт. ст.	45%	21 °С	14,8 °С	8,12	17 мкР/час	14 мкР/час
р. Кара-Кол	704 мм рт. ст.	45%	22 °С	15,8 °С	8,05	21 мкР/час	15 мкР/час
Пос. Ак-Терек	709 мм рт. ст.	39%	22 °С	17,5 °С	8,24	47 мкР/час	32 мкР/час

Радиометрической съемкой установлено, что уровень радиации в самом поселке Каджи-Сай и примыкающей к нему территории сравнительно не высокий 18-30 мкР/час. Исключение составляет гранитный песок, используемый местным населением в строительстве и других бытовых целях. Вблизи хозпостроек отдельные насыпи такого строительного материала дают повышенный радиационный фон (50-60 мкР/час). Мощность экспозиционной дозы радиационного фона в промышленной зоне несколько выше и составляет 35-40 мкР/час, в местах захоронения урановых отходов 200-300 мкР/ч, а на отдельных участках разрушения защитного слоя хвостохранилища уровень радиационного фона возрастает до 1000 мкР/час.

**Воды** рек Иссык-Кульской котловины в значительно большей степени обогащены ураном, повышенное содержание урана в водах следует связывать не только с климатическими условиями районов, но и с геологическим строением речных долин, а также особенностями химического состава речных вод, способных хорошо извлекать уран из горных пород [6, 7]. В таблице 2 представлены данные по содержанию естественных радионуклидов в воде рек и озера Иссык-Куль, ручьев с зоны хвостохранилищ после дождя в нижних зонах, а также соотношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ .

По данным таблицы 3 уровень общего урана в воде ручьев №1 и №2 с зоны Каджи-Сайских хвостохранилищ в сравнении с водой озера Иссык-Куль выше 2 - 5 раз, а относительно воды рек Кичи-Ак-Суу и Булан-Сегету в 40 – 100 раз. Вода, вытекающая из зоны хвостохранилищ, доходит до озера только в осенний и весенний периоды года. Наши исследования показали, что содержание общего урана в воде ручьев с зоны хвостохранилищ в сравнении с другими исследованными участками выше и доходит до 12,8 Бк/л, а соотношение изотопов  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  составляет максимальные значения -  $4,0 \pm 1,3$ .

В таблице 3 показано соотношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в разные периоды и среднее содержание урана в воде по местам опробирования. Наблюдаются незначительные отклонения в показателях, но в среднем за 30-40-летний период особых изменений по соотношению  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  не наблюдается. По содержанию урана в воде рек Иссык-Кульской котловины максимальные значения установлены для реки Актерек (0,42-47,0 г/л), что выше относительно других рек впадающих в озеро Иссык-Куль в 2-10 раз (табл. 4).

*Таблица 2. Содержание естественных радионуклидов в воде рек, ручьев зоны хвостохранилищ и оз. Иссык-Куль.*

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Место отбора пробы	U (общий) Бк/л	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	Общая альфа-активность Бк/л	$^{226}\text{Ra}$ Бк/л
оз. Иссык-Куль, пос. Кара-Ой	1,79±0,18	1,13±0,05	1,80	0,013
р. Булан-Сегеты	0,09±0,01	-	0,10	0,002
р. Кичи-Ак-Суу	0,17±0,02	-	0,20	0,009
р. Түп	0,23±0,02	-	0,23	0,016
р. Каракол	0,21±0,02	-	0,25	0,005
оз. Иссык-Куль, п. Ак-Терек	0,56±0,06	-	0,60	0,02
оз. Иссык-Куль, пос. Каджи-Сай, устье реки	1,69±0,17	1,52±0,05	1,67	0,015
зона хвостохранилищ, ручей № 1, до дождя	4,21±0,42	1,49±0,05	4,5	0,007
зона хвостохранилищ, ручей № 2, до дождя	10,2±1,02	1,30±0,05	10,0	0,005
дренаж (зона хвостохранилищ)	4,6±1,1	2,2±0,4	1,5	0,006
зона хвостохранилищ, ручей № 2, после дождя	12,8±2,3	4,0±1,3	1,3	0,005

*Таблица 3. Сравнение уран-изотопных данных по результатам опробования 1966-1970 гг. и 2003-2004 гг.*

Место опробования	$\gamma = ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$		Содержание урана $10^{-6}$ г/л
	1966-1990 [9]	2003-2004 [12]	
р. Торуйгыр	-	1,49±0,01	11,0-19,0
р. Чон-Аксуу	1,39±0,01	1,42±0,01	6,7-10,7
р. Тюп	1,43±0,01	1,34±0,08	2,6-8,7
р. Джергалан	1,23±0,01	1,20±0,02	4,7-13,0
р. Чон-Кызылсуу	1,23±0,01	1,20±0,02	4,3-11,2
р. Барскаун	1,14±0,01	1,08±0,07	2,7-7,2
р. Актерек	1,23±0,01	1,24±0,02	0,42-47,0
р. Тамга	1,22±0,01	1,22±0,06	15,1-21,6
родник в конусе выноса р. Урюкты	1,51±0,02	1,62±0,02	2,6 – 4,3
скважина 3 Джергаланская	1,20±0,02	1,32±0,06	0,6-15,6

**Почва.** Проведенные нами исследования показали, что содержание урана в почвах Прииссыккулья варьирует в зависимости от их типа, климатических, геологических и геоморфологических особенностей. По биогеохимической классификации для естественных радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) характерно слабое накопление в почве (от 2 до 10 кларков). Содержание искусственного радионуклида ( $^{137}\text{Cs}$ ) в почве не превышает допустимых уровней вмешательства (НРБ-99). Радионуклиды больше обнаруживаются в верхних слоях почв, чем в нижних. Следует отметить, что среди исследованных проб, более высокой радиоактивностью отличаются пробы песка береговых зон в районе поселка Ак-Терек (табл. 4).

*Таблица 4. Изотопный состав радионуклидов почв Прииссыккулья.*

по отб	Активность почв по изотопам, Бк/кг
--------	------------------------------------

	Слой (см)	$^{238}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{228}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$
с. Кара-Ой	0-5	71,8±12,7	35,1±3,9	147,4±13,0	39,5±2,2	35,2±8,8
	5-10	50,8±7,3	37,7±3,4	64,6±11,4	49,0±1,9	60,1±7,5
	10-15	44,0±1,7	35,1±3,2	50,1±7,2	45,6±1,8	52,3±3,5
	15-20	51,7±7,4	46,1±3,5	50,2±7,7	49,9±1,9	53,6±7,7
р. Кичи-Аксу	0-6	71,5±14,3	51,0±3,4	88,5±18,4	69,1±3,6	72,4±7,2
	6-11	52,1±6,5	43,2±3,1	71,7±10,2	43,2±3,3	59,2±9,3
	11-20	54,9±7,3	45,4±3,5	68,6±7,6	64,3±3,8	64,1±7,5
с. Ак-Терек	0-3	260,0±30,0	103,0±8,0	169,0±30,0	915,0±57,0	846,0±70

В поверхностном грунте Каджи-Сайского хвостохранилища повышена удельная активность  $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$  составила 851,6 Бк/кг, очень много  $^{226}\text{Ra}$  (3800 Бк/кг), нарушено радиоактивное равновесие между  $^{234}\text{Th}/^{226}\text{Ra}$ , что свидетельствует о наличии процессов выщелачивания урана (табл. 5).

Повышено содержания тория  $^{228}\text{Ac}$  (97,7 Бк/кг), кларк в почве – 24,6 Бк/кг, для осадочных пород – 45 Бк/кг, кларк концентрации тория в пробах составил (Кк-3,97).

Повышено содержание  $^{40}\text{K}$  (890 Бк/кг), кларк для почвы – 370 Бк/кг, кларк концентрации  $^{40}\text{K}$  составил (Кк-2,4).

Таблица 5. Удельная активность радионуклидов в поверхностном слое грунта Каджи-Сайского хвостохранилища (Бк/кг).

$^{234}\text{Th}$ 851,6±9,2	$^{226}\text{Ra}$ 3789,6±2	$^{214}\text{Pb}$ 2946,1±7	$^{214}\text{Bi}$ 2675,8±6	$^{210}\text{Pb}$ 3337,2±16	$^{228}\text{Ac}$ 97,7±2,0	$^{224}\text{Ra}$ 146,2±12,1
$^{212}\text{Pb}$ 109,4±1,0	$^{212}\text{Bi}$ 87,4±5,5	$^{208}\text{Tl}$ 97,9±1,9	$^{235}\text{U}$ 39,5±0,9	$^{227}\text{Th}$ 162,9±2,9	$^{40}\text{K}$ 890 ± 11	$^{137}\text{Cs}$ 2,1 ± 0,4

Произрастание растений в среде с повышенной концентрацией урана сопровождается некоторой морфологической изменчивостью. Так, например, гармала обыкновенная (*Peganum harmala*) образует цветки с семью – девятью лепестками, вместо обычных пяти (рис. 2). В отдельных зонах хвостохранилища, где мощность экспозиционной дозы достигает до 1000 мкР/ч, растения сильно угнетены в росте, наблюдается уменьшение числа генеративных побегов, увеличение количества бесплодных цветков (рис. 3).



Рис. 2. У цветков гармалы обыкновенной (*Peganumharmala*) вместо 5 отмечается 6-7 лепестков



Рис.3. Цветовая мозаика растений семейства ирисовых (*Irissongarica* Schrenk)

**Обсуждение.** Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что средняя радиоактивность почв Иссык-Кульской котловины невысокая, ее можно рассматривать как условный радиогеохимический фон данного региона (который для урана-радия определяется значениями между 35 и 55 Бк/кг). Общий уровень внешнего радиационного фона находится в пределах нормы, за исключением отдельных локальных участков, имеющих природный и техногенный характер.

Повышенная радиоактивность характерна:

- для отдельных горных участков, основу которых составляют граниты, мелкие их обломки, красный песок, углисто-кремнистые сланцы, а также береговые зоны пляжей с. Жениш и с. Ак-Терек, расположенные на южном побережье озера Иссык-Куль, имеющие повышенную естественную радиоактивность.

- хвостохранилище с радиоактивными отходами техногенного участка «Каджи-Сай», где мощность экспозиционной дозы в десятки и сотни раз выше фоновых значений. На территории данного техногенного участка требуется проведение дополнительных инженерных работ по восстановлению защитного слоя хвостохранилища, следует огородить зону хвостохранилища, установить специальные знаки, предупреждающие о наличии радиоактивного загрязнения. Наряду с инженерными работами необходимо проведение фитомелиоративных мероприятий - озеленение отвалов и хвостохранилищ, предохраняющих от воздействий водной и ветровой эрозии.

В Иссык-Кульской урановой биогеохимической провинции для некоторых видов травянистых видов растений установлена морфологическая изменчивость: изменчивость цветков (*Peganum garmala*); нарушение пигментации листьев (*Iris songarica* Schrenk).

#### Литература:

1. Айтматов И.Т., Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкологические проблемы в горнопромышленном комплексе Кыргызстана. //Наука и новые технологии. 1997, № 1. -С. 81-95.
2. Алексахин Р. М. Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. –М.: Россельхозакадемия, 2006. -С. 880.
3. Быковченко Ю.Г., Быкова Э.И., Белеков Т.Б. и др. Техногенное загрязнение ураном биосферы Кыргызстана. -Бишкек, 2005. –С. 169.
4. Дженбаев Б. М. Геохимическая экология наземных организмов. -Бишкек, 2009. –С. 240.
5. Дженбаев Б.М., Калдыбаев Б.К., Жолболдиев Б.Т. Радиобиогеохимическая оценка современного состояния биосферной территории Иссык-Куль //Мат-лы межд. конф. «Современные проблемы геоэкологии и сохранения биоразнообразия».- Бишкек, 2009. -С. 77-81.
6. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С. и др. Урановые биогеохимические пищевые цепи в условиях Иссык-Кульской котловины //Труды Биогеохимической лаборатории. - М.: Наука, 1968, т. XII. -С. 25-53.
7. Ковальский В.В. Геохимическая экология. -М.: Наука, 1974. –С. 300.

8. Мамытов А.М. Почвенные ресурсы и вопросы земельного кадастра Кыргызской Республики. -Бишкек: Кыргызстан, 1996. –С. 240.
9. Матыченков В.Е., Тузова Е.В. Устойчивость изотопного состава урана в водах Иссык-кульского бассейна //Изучение гидродинамики оз. Иссык-Куль с использованием изотопных методов. Ч.1. -Бишкек, 2005. -С. 133-137.
10. Султанбаев А.С. Сельскохозяйственные аспекты биогеохимии и радиоэкологии урана в горных ландшафтах Киргизской ССР: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. Обнинск, 1982. –С. 43.
11. Торгоев И.А, Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. -Бишкек: Илим, 2009. -С. 240.Карпачев Б.М., Менг С.В. Радиационно-экологические исследования в Кыргызстане. -Бишкек, 2000. –С. 56.
13. Djenbaev V.M., Shamshiev A.B., Jolboldiev B.T. et al. Thebiogeochemistry of uranium in natural-technogenic provinces of the Issik-Kul //Uranium, Mining and Hydrogeology. German, Freiberg, 2008. -P. 673-680.