

**Т.Э. ТОКТОЕВА**

## **ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ ПРИИССЫККУЛЬЯ**

(Ысыккульский государственный университет им. К.Тыныстанова)

*В данной работе рассмотрены естественные радионуклиды -  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$  в почвах и сельскохозяйственных растениях агроэкосистем Прииссыккулья. Проведены цитогенетические исследования с применением растительных тест-объектов.*

Радиоактивность и сопутствующее ей ионизирующее излучение – явления не новые. Они существовали задолго до зарождения жизни на Земле и присутствовали в космосе до возникновения самой планеты. Основную часть облучения живые организмы получают от естественной радиации, источниками которой служат природные образования (1).

Иссык-Кульская межгорная впадина представляет собой природной урановую биогеохимическую провинцию, в пределах которой обогащены ураном все компоненты природной среды: горные породы, почвы, озерные, речные и подземные воды, озерные осадки и живые организмы (2).

Долговременное радиационное облучение живых организмов вызывает генетические изменения, которые могут привести к мутациям. Хромосомные перестройки вызываются как химическими мутагенами, так и ионизирующими излучениями, аббераций хромосом способствуют двунитевые разрывы ДНК. Поэтому нами поставлено цель - изучить особенности естественных радионуклидов в агроэкосистемах Прииссыккулья.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектами исследования являются сельскохозяйственные растения Прииссыккулья: пшеница и ячмень, почва и вода.

Удельную активность радионуклидов определяли  $\gamma$ -спектрометрическим методом. Обработку и подготовку проб производили по стандартным методикам.

Цитогенетический анализ частоты хромосомных нарушений в меристематических корешках прорастающих семян исследуемых растений проведен по общепринятой методике (3) с использованием микроскопа.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Мощность естественного радиационного фона по гамма излучению в регионе составляет от 0,13 до 0,23, местами до 0,4 мкЗв/ч. Вариации естественного фона связаны с неоднородным распределением элементов радиоактивных рядов урана и тория в земной коре.

**Почва** – это важнейшее депо радиоактивных элементов. Через эту среду они могут поступать в воздух, воду, растительные и животные организмы и далее по пищевым цепям – в организм человека, что представляет большую опасность, причем воздействие ионизирующих излучений чаще приводит к хромосомным перестройкам.

Основным фактором, определяющим содержание естественных радиоактивных элементов в почве, являются почвообразующие породы. Наиболее высокие их концентрации характерны для гранитов и тяжелых по механическому составу глинистых пород, а низкие –

для песчаников и базальтов. Содержание радионуклидов, как правило, выше в изверженных кислых и средних породах (граниты, диориты) по сравнению с осадочными (4).

Естественные радионуклиды распределяются в почве относительно равномерно, а техногенные скапливаются в основном в поверхностных горизонтах – это общая закономерность, но для каждого радионуклида характерны свои особенности распределения.

Агроэкосистемы Прииссыккуля представлены различными типами почв, среди них: серобурые, пустынные, светлобурые, светлокаштановые, каштановые, темнокаштановые и черноземы.

Исследованиями В.В. Ковальского с соавторами было установлено, что физико-географическое расположение и геологическое строение Иссык-Кульской котловины во многом определяют её как провинцию с повышенным содержанием естественного урана. Выходы гранитов, наличие углисто-кремнистых сланцев, обогащенных ураном, определяют повышенное содержание урана в почвах котловины и в воде озера Иссык-Куль (2). Наши полученные данные в целом соответствуют с данными ранее полученных результатов исследователей с некоторыми отклонениями. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Концентрация радионуклидов в почвах агроэкосистем Прииссыккуля (Бк/кг)

Районы	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
Иссык-Куль	49,1±2,6	59,4±3,6	61,6±1,3	879±12
Тюп	106,6±1,7	68,7±2,1	61,0±0,7	984±6
Ак-Суу	42,3±2,5	66,8±3,6	62,2±1,3	861±10
Жеты-Огуз	57,8±2,7	71,5±3,7	67,5±1,3	911±10
Тон	97,3±3,2	111,7±4,2	112,2±1,5	1012±10

**Уран-238.** По данным А.П. Виноградова и Д.П. Малюги, среднее содержание урана в почвах равно  $1 \times 10^{-4}\%$ . В зависимости от химического состава пород, на которых происходило образование почв и условий почвообразования, оно может колебаться от  $1 \times 10^{-5}$  до  $1 \times 10^{-3}\%$  (5,6). По данным А.С. Султанбаева (7), содержание урана в почвах Северной Киргизии варьирует в пределах  $0,57-1,77 \times 10^{-4}\%$ . Кларк для почвы - 25 Бк/кг.

Результаты наших анализов показывают, что содержание урана в почвах агроэкосистем Прииссыккуля составляет от 42,3 до 106,6 Бк/кг. Максимальные концентрации урана были обнаружены в Тюпском и Тонском районах.

**Торий-232.** По Виноградову в почвах Русской равнины количество тория близко к геохимическому фону и составляет  $6,0-8,0 \times 10^{-4}\%$  (5). По данным Алексахина Р.М. его удельная активность в земной коре (кларк) составляет 33,3 Бк/кг, а в почве (кларк) 25,0 Бк/кг. В почвах бывшего Советского Союза удельная активность тория-232 колеблется в пределах 0,24-40,0 Бк/кг при среднем значении 31,1 Бк/кг (8).

Полученные данные показывают, что в почвах агроэкосистем Прииссыккуля значения по торию-232 варьируют в пределах 61,0-112,2 Бк/кг, максимальные концентрации его обнаруживаются в Тонском районе.

**Радий-226.** В природе радий-226 находится в рассеянном состоянии. Он не входит в состав отдельных минералов, а широко распространен в виде включений во многих

образованиях. Кларковое содержание радия-226 в земной коре -  $1 \times 10^{-11}\%$ , а в почвах -  $8 \times 10^{-11}\%$ . В последних радий-226 обладает наибольшей миграционной способностью по сравнению с другими тяжёлыми естественными радионуклидами (8). Содержание радия-226 в почвах района исследования варьирует в пределах 59,4-111,7 Бк/кг. Наибольшее значение по радю-226 отмечено в Тонском районе.

**Калий-40.** Радиоактивный изотоп калия занимает второе место как источник излучений, обуславливающих природный радиоактивный фон. В каждом грамме природного калия содержится около 278 Бк калия-40. В пахотном горизонте почв ( $3 \times 10^8$  кг/км<sup>2</sup>) содержится калия-40 в количестве  $(2,7-21,6) \times 10^{-10}$  Бк/км<sup>2</sup> ( $0,7-5,8$  Ку/км<sup>2</sup>) (8). Результаты анализов показали, что содержание калия-40 в почвах составляет 861-1012 Бк/кг. Слегка повышенные концентрации калия-40 означают, вероятнее всего, геохимическую особенность провинции.

**Вода.** В среднем воды Иссык-Куля содержат  $3,0 \times 10^{-6}\%$  урана. По данным разных авторов (2, 9, 10) количество урана в водах рек Тон и Ак-Суу Иссык-Кульской котловины составляет  $5,6 \cdot 10^{-6}$  г/л. В реке Джергалан оно колеблется в зависимости от времени года и места отбора от  $2,8 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  г/л. Воды колодцев и рек Иссык-Кульской котловины содержат в 10, а в некоторых случаях и в 100 раз больше урана, чем воды районов черноземной и нечерноземной зон по В.В.Ковальскому (1968).

**Растения.** Растительность принимает активное участие в процессах миграции и превращениях химических соединений в почве, тем самым выступает в роли активного геохимического агента и мощного почвообразовательного фактора. В связи с этим известный интерес представляет изучение содержания радионуклидов в растениях.

По литературным данным (5) содержание урана в золе растений на почвах с кларковым его содержанием варьирует в пределах от  $1,0 \cdot 10^{-8}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  г/г. Как отмечает Д.П. Малюга (6), в золе растений, произрастающих на почвах с обычной концентрацией урана, содержится  $10^{-6}-7 \cdot 10^{-5}\%$  этого элемента. Среднее содержание урана, по данным В.В. Ковальского и др. (2), колеблется от 0,04 до  $5 \cdot 10^{-4}\%$  в пересчете на сухое вещество. Количество его в золе растений Северной Киргизии (11) изменяется от  $0,20 \cdot 10^{-4}$  до  $10,94 \cdot 10^{-4}\%$ .

В различных точках минимальные и максимальные значения в растениях исследуемого района составляют от 9 до 10 по <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra от 9 до 14, <sup>232</sup>Th - от 4 до 22, <sup>40</sup>K – соответственно 4104 и 6519 Бк/кг (таблица 2).

Таблица 2

Результаты радионуклидного анализа озоленных образцов зерна (Бк/кг) пшеницы (*Triticum*) и ячменя (*Hordeum*)

Районы	Масса,г	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
Иссыккуль	18	<10	<13	11±3	5459±55
Тюп	17,3	<10	<12	9±3	4104±50
Ак-Суу	17,1	9±4	<9	<4	4723±37
Жеты-огуз	17,5	<9	<12	<4	4134±49
Тон	19,6	<9	14±7	22±3	6519±55

**Цитогенетические исследования.** Путем учёта хромосомных aberrаций делаются попытки оценить мутагенные свойства повышенного фона радиации, обусловленного близким залеганием к поверхности рудных жил, содержащих естественные радионуклиды. В большинстве случаев удается зарегистрировать высокий выход хромосомных aberrаций у растений, произрастающих в районах с повышенным радиоактивным фоном, однако остается большая доля сомнений, действительно ли эти аномалии обязаны влиянию радиационного фактора. Известно, что районы радиоактивных аномалий, представляют собой сложные геохимические системы, где наряду с повышенным радиоактивным фоном действуют и другие факторы нерадиационной природы, которым также присуща мутагенная активность. Ситуация усложняется также существенными различиями сопоставляемых контрольных и опытных участков, поскольку в природной среде практически невозможно выбрать во всех отношениях безукоризненный контроль. Флуктуация экологических факторов окружающей среды и их способность «перекрывать» действие радиационного фактора низкой мощности, сильно осложняет интерпретацию полученных данных и затрудняет оценку действия ионизирующих излучений (4).

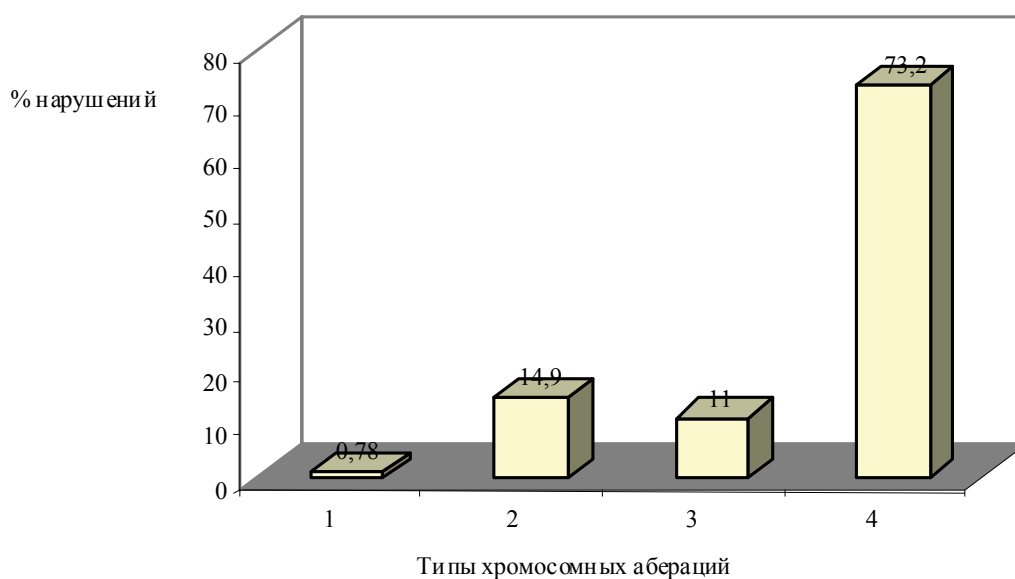
Исходя из выше изложенного, основной задачей нашего исследования явилось определение общего мутагенного фона среди сельскохозяйственных культур агроэкосистем Прииссыккуля. В качестве объектов исследований были выбраны семена ячменя и озимой пшеницы. При проведении хромосомного анализа использовались временные давленные препараты, приготовленные из меристематических зон корешков. Хромосомные мутации учитывались ана-телофазным методом согласно рекомендациям, изложенным в работах (3). Всего было просмотрено около 10000 ана-телофазных пластинок ячменя и пшеницы.

В спектре мутаций преобладали одиночные фрагменты, хроматидные мосты, незначительную долю составили парные фрагменты и хромосомные мосты (таблица 3, рисунок 1). По данным Т.И. Евсеевой и др. (2003) частота aberrаций хромосом в клетках корневой меристемы *Allium schoenoprasum* в контрольном варианте составила  $0,76 \pm 0,21\%$  (12). Шкварников П.К. (1990) исследовал сельскохозяйственные растения, произрастающие в 30-км зоне ЧАЭС, и установил контрольный уровень мутабельности  $0,49\%$  у ржи и  $0,47\%$  у пшеницы соответственно. По исследованиям Б.К. Калдыбаева (2000 г.) был изучен мутационный процесс в семенах ярового ячменя сорта Надя и озимой мягкой пшеницы сорта Безостая 1 из различных агроценозов восточной части зоны земледелия Иссык-Кульской области. Естественный уровень перестроек хромосом в клетках корневой меристемы в контроле составил  $(0,68 \pm 0,32)\%$  для ячменя и  $(0,80 \pm 0,40)\%$  для пшеницы. По результатам наших исследований частота хромосомных нарушений по ячменю составила от 1,8 до 3,0 %, а пшенице - от 2,0 до 4,0 %. При сравнении с контрольными вариантами результаты наших исследований превышают от 2,7 до 6,3 раз, соответственно. Наиболее высокий показатель частоты хромосомных aberrаций наблюдается у растений, выращенных в окрестностях Курментинского цементного завода – 4 %. Вероятно, это связано не только с действием естественного фона радиации, но и комбинированным действием мутагенов химической природы, так как в пробах известняка, используемого комбинатом, обнаруживаются повышенные концентрации кадмия – 64,3 мг/кг (14). В результате добычи дробления и других производственных процессов происходит поступление некоторой части породы в атмосферный воздух в виде микрочастиц, распространяющихся потоками воздуха, загрязняющих близлежащие территории.

Таблица 3

Общая частота ана-телофазных пластинок с хромосомными нарушениями

№	Место отбора проб	Вид растения	Кол-во ана-телофаз	Число ана-телофаз с абберациями		Всего перестроек	Количество аббераций на 100 ана-телофаз
				число	%±m		
1	с.Курменты	пшеница	500	20	4,0±0,76	20	4,0±0,76
		ячмень	500	15	3,0±0,58	15	3,0±0,58
2	с.Фрунзе	пшеница	500	12	2,4±0,47	13	2,6±0,51
		ячмень	500	13	2,6±0,51	14	2,8±0,54
3	с.Тюп	пшеница	500	10	2,0±0,39	12	2,4±0,47
		ячмень	500	13	2,6±0,51	13	2,6±0,51
4	с.Кызылсуу	пшеница	500	10	2,0±0,39	11	2,2±0,43
		ячмень	500	12	2,4±0,47	12	2,4±0,47
5	с.Барскоон	пшеница	500	13	2,6±0,51	13	2,6±0,51
		ячмень	500	14	2,8±0,54	14	2,8±0,54
6	с.Тон	пшеница	500	13	2,6±0,51	14	2,8±0,54
		ячмень	500	13	2,6±0,51	13	2,6±0,51
7	С.Боконбаево	пшеница	500	11	2,2±0,43	12	2,4±0,47
		ячмень	500	12	2,4±0,47	12	2,4±0,47
8	С.Кереге-таш	пшеница	500	11	2,2±0,43	12	2,4±0,47
		ячмень	500	11	2,2±0,43	12	2,4±0,47
9	с.Маман	пшеница	500	11	2,2±0,43	11	2,2±0,43
		ячмень	500	9	1,8±0,35	9	1,8±0,35
10	с.Борубаш	пшеница	500	10	2,0±0,39	11	2,2±0,43
		ячмень	500	13	2,6±0,51	13	2,6±0,51



**Рисунок 1. Спектр структурных нарушений хромосом 1 -хромосомные мосты, 2 - хроматидные мосты, 3 - парные фрагменты, 4 -одиночные фрагменты**

Таким образом, почвы Прииссыккуля характеризуются повышенным содержанием естественных радиоактивных элементов по сравнению с кларковыми величинами литосферы и средними значениями по литературным данным (5,6,8).

В золе растений исследуемого района количество радионуклидов составляет в различных пробах от 9 до 10 по  $^{238}\text{U}$  Бк/кг, по  $^{226}\text{Ra}$  от 9 до 14 Бк/кг, по  $^{232}\text{Th}$  - от 4 до 22 Бк/кг, и  $^{40}\text{K}$  – соответственно 4104 и 6519 Бк/кг.

Частота хромосомных нарушений по ячменю составила от 1,8 до 3,0 %, а пшенице от 2,0 до 4,0 %. Наиболее высокий показатель частоты хромосомных абераций характерен для растений, выращенных в окрестностях Курментинского цементного завода – 4 %.

Для комплексной оценки провинции необходимо проведение более детальных исследований с применением тест-систем на молекулярном уровне, позволяющих обнаружить трудно выявляемые обычными способами перестройки хромосом.

## Литература

1. Кайзер М.И. Содержание подвижных форм  $^{40}\text{K}$  в почвах горного Алтая. //Сборник материалов Международной конференции «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее». 22-26 сентября 2008.
2. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С. и др. Урановые биогеохимические пищевые цепи в условиях Иссык-Кульской котловины // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР. – М.: Наука, 1968г. –Т. XII. – С. 5-112.
3. Радиационная генетика. Ред. Энгельгардт и др. М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 367 с.
4. Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера-М.: Энергоиздат, 1982. -125 с.
5. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почве. - М.: Издательство АН СССР, 1957.
6. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М., изд-во АН СССР,1963.
7. Султанбаев А.С. Содержание естественного урана в почве и вынос его урожаем растений. Труды Кирг НИИЗ, вып. 12, Фрунзе, 1974.
8. Тяжёлые естественные радионуклиды в биосфере //Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов В.П. и др. Под ред. Алексахина Р.М. – М.: Наука, 1990. – 350 с.

9. Быковченко Ю.Г., Быкова Э.И., Белеков Т.Б. и др. Техногенное загрязнение ураном биосферы Кыргызстана. – Бишкек, 2005. - 169 с.
10. Матыченков В.Е., Тузова Е.В. Устойчивость изотопного состава урана в водах Ысык-Кульского бассейна. Изучение гидродинамики оз. Иссык-Куль с использованием изотопных методов. Ч.1. 2005. - С.133-137.
11. Султанбаев А.С. Быкова Э.И. Уран в почвах Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта (Отчет по завершеному исследованию. Фонд КиргНИИЗ), 1971.
  12. Евсеева Т.И., Гераськин С.А., Шуктомова И.И., Храмова Е.С. Комплексное изучение радиоактивного и химического загрязнения водоемов в районе расположения хранилища отходов радиевого промысла // Экология, 2003, №3. - С. 176-183.
13. Шкварников П.К. Цитологическое исследование растений произраставших под воздействием разных уровней радиации // Цитология и генетика. – 1990. – Т. 24, №5. – С. 33-37.
14. Калдыбаев Б.К. Эколого-генетическая оценка последствий агроценозов восточной части зоны земледелия Иссыккульской области. /Дис.канд.биол.наук. – Алматы, 2000. - 119 с.

\*\*\*

*Осы жұмыс барысында Ыстықкөл жағалауындағы топырағынан және ауылиаруашылығы өсімдіктерінің агроэкожүйесіндегі табиғи радионуклидтер  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  және  $^{40}\text{K}$  қарастырылды. Өсімдіктерді тест-үлгі ретінде пайдаланып цитогенетикалық зерттеулер жүргізілді.*

\*\*\*

*In present work examined the natural radionuclide -  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{40}\text{K}$  in the soil and agricultural plants of agroecosystem in Issyk-kul region. The cytogenetical research is done by using the test of the plant's objects.*