

Калдыбаев Б.К.

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ПРИИССЫККУЛЬЯ**

*B.K. Kaldybaev*

**CONCENTRATION OF HEAVY NATURAL RADIONUCLIDE IN THE PLANTS OF ISSYK-KUL REGION**

УДК: 577.391

*В работе представлены результаты исследований по содержанию и удельной активности тяжелых естественных радионуклидов в дикорастущих и культурных растениях природных и техногенных экосистем Прииссыккулья.*

*This work presents the results of research on concentration and specific activity of HNRN (uranium, thorium, radium, cesium) in the wild and cultural plants in natural and technogeny ecosystems of Issyk-Kul region.*

Содержание урана в растениях определялось в Биогеохимической лаборатории академика В.И. Вернадского в опытах с горохом, выращенным на средах с различной концентрацией элемента.

Позднее Гофман, флуориметрическим методом определяя содержание урана в золе растений, произрастающих в естественных условиях наземной и водной среды, показал, что разные виды растений и их органы содержат неодинаковые количества урана. Больше всего урана содержалось в семенах винограда, луковице чеснока и листьях сельдерея. Наименьшее количество урана обнаружено в пастбищной траве, зерне кукурузы, стеблях винограда. В остальных растениях содержание урана в золе колебалось в пределах  $n \times 10^{-5}$ – $n \times 10^{-6}$  % (Ковальский, 1974).

Количество урана, поглощаемое растительными организмами, зависит от концентрации и форм соединений урана в породах, почвах и природных водах, а также от экологических условий среды, видовых особенностей растений и характера адаптации растений к условиям геохимической среды. Среднее вычисленное содержание урана в золе растений, согласно А.П. Виноградову (1957), около  $5 \times 10^{-7}$ %. В растениях, произрастающих на почвах с обычным содержанием урана ( $n \times 10^{-5}$  % -  $1 \times 10^{-4}$ %) содержится от  $n \times 10^{-6}$  до  $5 \times 10^{-5}$  % урана на золу (Малюга, 1965). Значительные количества урана, во много раз превышающие эти величины, могут накапливаться в растениях, которые произрастают на почвах, обогащенных ураном или вблизи выходов урановых пород. Так, в зольном остатке растений, собранных в некоторых районах плато Колорадо (США), было обнаружено от  $2 \times 10^{-4}$  до  $1,9 \times 10^{-1}$  % урана, причем особенно высокая концентрация урана отмечалась в растениях, корневая система которых была связана с породой, обогащенной ураном (Cannon, 1952). Повышенные концентрации урана в растениях (свыше  $1 \times 10^{-4}$  %) были обнаружены во Франции, Японии, на территории бывшего Советского Союза. Так, например, в

золе растений Сибири содержание урана колеблется в пределах от 0,05 до  $2,5 \times 10^{-4}$ %, Украины - от  $n \times 10^{-5}$  до  $n \times 10^{-6}$  г/г, Азербайджана - от  $0,9 \times 10^{-5}$  до  $4,0 \times 10^{-4}$  %, Коми АССР -  $5,0-41,3 \times 10^{-6}$ %, Ленинградской области -  $1,0 \times 10^{-6}$ %. Б.С. Пристер показал, что в сухом веществе растений количество урана изменяется от 0,13 до  $1,3 \times 10^{-5}$  % (Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере, 1990).

Как показали исследования В.В. Ковальского и др., в сухом веществе растений Иссык-Кульской котловины содержится от 0,04 до  $5,0 \times 10^{-4}$  % урана. По данным Э.И. Быковой, в растениях Чуйской впадины содержание урана колеблется от  $0,6 \times 10^{-6}$  до  $0,8 \times 10^{-4}$  % на сухое вещество или  $0,1-40,0 \times 10^{-4}$  на золу. Растения, произрастающие на территории Северной Киргизии, охватывающей Чуйскую, Таласскую и Кеминскую впадины содержание урана варьирует от 1,0 до  $185 \times 10^{-6}$  % (Султанбаев, 1977). Для ряда сельскохозяйственных культур величина накопления урана в сухом веществе изменяется в пределах  $6,3-9,3 \times 10^{-5}$  г/кг.

Как показали результаты наших исследований, содержание урана в растениях Прииссыккулья заметно варьирует от  $1,0 \times 10^{-6}$  до  $1,4 \times 10^{-4}$ %, при среднем значении  $0,39 \times 10^{-4}$  % что превышает уровень содержания урана в растениях целинных чернозёмных степей ( $2,1 \times 10^{-6}$ %) в 18,6 раз. На содержание урана в растениях определённое влияние оказывают почвенно-климатические условия мест их произрастания. Так, например, растения, произрастающие на светлых бурых почвах со средним содержанием урана  $2,4 \times 10^{-4}$  % концентрируют уран от  $5,0 \times 10^{-6}$  до  $1,4 \times 10^{-4}$  %, в среднем  $0,51 \times 10^{-4}$  %. К данному типу почв приурочены растительные группировки сухих ковыльно-полыно-типчакowych степей. Видовой состав степей в северной части озера богаче и разнообразнее, чем в южной. В северной части побережья главенствующая роль принадлежит ковылям, в южной части - типчаку (*Festuca sulcata*). Проективное покрытие сухих ковыльно-полынно-типчакowych степей и типчакowo-полынно-ковыльных степей составляет около 30%. Отдельные виды дикорастущих растений из данных мест произрастания, такие как Полынь тьянь-шаньская, Гармала обыкновенная, Карагана бледнокорая концентрируют уран до  $1,4 \times 10^{-4}$  %. Наименьшее содержание урана обнаруживалось в зерновых колосовых культурах (озимая пшеница, яровая ячмень) в зерне -  $1,7-2,3 \times 10^{-6}$  %, в соломе

0,57-0,71x10<sup>-5</sup> %. Коэффициент накопления урана в надземной части дикорастущих растений составил 0,15- 4,3x10<sup>-1</sup>, для зерновых культур для зерна - 0,7- 0,9x10<sup>-2</sup>, для соломы - 2,4-3,0x10<sup>-2</sup>. Удельная активность урана-238 находилась в пределах 0,65- 18,36 Бк/кг, при средней величине 6,7 Бк/кг.

На серо-бурых почвах среднее содержание урана в отдельных видах дикорастущих растений составило 4,0x10<sup>-6</sup> % - 0,9x10<sup>-4</sup> %, при среднем значении 0,29x10<sup>-4</sup>%. Такие виды как, Карагана белокорая, Гармала обыкновенная характеризовались более повышенными концентрациями урана по сравнению с другими видами растений. Коэффициент накопления урана в надземной части дикорастущих растений составил 0,1-3,2x10<sup>-1</sup>, для озимой пшеницы (зерно-0,7x10<sup>-2</sup>, солома-2,3x10<sup>-2</sup>), для ярового ячменя (зерно-0,5x10<sup>-2</sup>, солома-1,5 x10<sup>-2</sup>). Удельная активность урана-238 в растениях варьировала в пределах 0,52-11,8 Бк/кг, при среднем значении - 3,8 Бк/кг.

Растительность горных светло-каштановых почв представлена полынью тьянь-шаньской полынью эстрагоном, типчаком ковылём, встречаются горно-колосник, житняк гребенчатый, акантолимон, чий блестящий и др. Проективное покрытие составляет около 50%. Среднее содержание урана в растениях данного типа почв составило 0,84x10<sup>-4</sup>%. Повышенным содержанием урана отличались Карагана белокорая 2,5x10<sup>-4</sup>%. Полынь эстрагон 0,8x10<sup>-4</sup>%, Ковыль волосатик 0,6x10<sup>-4</sup>%. Коэффициент накопления урана в данных видах растений варьировал в пределах 0,2-6,2x10<sup>-4</sup>%, при среднем значении 2,1x10<sup>-1</sup>%. Удельная активность урана - 238 в растениях варьировала от 1,18 до 32,8 Бк/кг, при среднем 11,02 Бк/кг.

С горно-долинными светло-каштановыми почвами связаны разнотравно-злаковые степи. Видовой состав весьма разнообразен. Наряду со злаковой основой возрастает роль разнотравья. Основными видами растительной ассоциации являются ковыль тырса, житняк гребенчатый, тонконог изящный, костёр безостый, полынь эстрагон, пырей ползучий, шалфей пустынный, люцерна серповидная, термопсис ланцетный, подмаренник настоящий и другие. Проективное покрытие составляет около 90%. Следует заметить, что горно-долинные светло-каштановые почвы являются основным пахотным фондом Иссык-Кульской области. Содержание урана в исследованных нами дикорастущих видах растений составило: Ковыль тырса - 0,2x10<sup>-4</sup>%, костер безостый - 0,3x10<sup>-4</sup>%, полынь эстрагон- 0,6x10<sup>-4</sup>%, одуванчик - 0,04x10<sup>-4</sup>%, пырей ползучий - 0,3x10<sup>-4</sup>%. Среднее содержание урана в растениях составило 0,28x10<sup>-4</sup>%. В зерновых культурах содержание урана было на порядок ниже в зерне 0,15-0,17x10<sup>-5</sup>%, в соломе 0,38-0,52x10<sup>-5</sup>%. Коэффициент накопления урана в дикорастущих видах растений составил 0,9x10<sup>-4</sup>, в зерновых

культурах, для озимой пшеницы (зерно - 0,4x10<sup>-2</sup>, солома - 1,3x10<sup>-2</sup>), для ярового ячменя (зерно - 0,4x10<sup>-2</sup>, солома - 0,9x10<sup>-2</sup>). Удельная активность урана-238, варьировала в пределах 0,52-4,73 Бк/кг.

Растительный покров черноземных почв представлен формацией луговых степей. Видовой состав травостоя разнообразен. Наряду со степными формами появляются луговые элементы растительности: ежа сборная, коротконожка, скабиоза желтая, зверобой, душица обыкновенная, клевер луговой и др. Проективное покрытие 100%. Содержание урана в исследованных нами дикорастущих растениях варьировало от 0,3 до 0,9x10<sup>-4</sup>%, при среднем значении 0,5x10<sup>-5</sup>%.

В зерне зерновых культур содержалось 0,09-0,1x10<sup>-5</sup>%, в соломе 0,28-0,37x10<sup>-5</sup>%.

Коэффициент накопления урана в надземной части дикорастущих растений составил 0,1x10<sup>-4</sup>, для зерновых культур (зерно - 0,2-0,3x10<sup>-2</sup>), (солома 0,7-1,0x10<sup>-2</sup>). Удельная активность урана-238 в растениях варьировало в пределах 0,39-1,17 Бк/кг, при среднем значении - 0,65 Бк/кг.

Результаты исследований показали, что растения произрастающие в условиях Прииссык-куля по содержанию урана характеризуются заметной пестротой, в надземных органах его количество изменяется - от 1 x 10% до 2,5x10<sup>-4</sup>%. По видам растений более высоким содержанием урана характеризовались Карагана белокорая - 2,5, Полынь эстрагон - 0,8, Гармала обыкновенная - 0,6x10<sup>-4</sup>%. Малое количество урана в надземных органах содержали одуванчик - 0,3, зверобой - 0,4, клевер луговой - 0,5x10<sup>-5</sup>%. В семенах зерновых культур уран найден в минимальных количествах, где среднее его значение составило 0,1x10<sup>-5</sup>%. На содержание урана в растениях определенное влияние оказывают почвенно-климатические условия мест их произрастания. Так, надземные части растений горных светло-каштановых почв содержат больше урана, чем растения относящиеся к другим типам почв. Растения произрастающие на черноземных почвах, наоборот, характеризуются относительно малым содержанием урана. Удельная активность урана - 238 в надземной части растений оказалась сравнительно не высокой 0,65 -11,02 Бк/кг, при среднем значении 5,1 Бк/кг. Следует отметить, что большие периоды полураспада как урана-238, так и урана-234, приводят к тому, что их удельная активность оказывается очень низкой. Даже в тех тканях растений, которые содержат самые высокие концентрации урана, активность, обусловленная этими изотопами урана и продуктами их распада, мала и повышенные концентрации этого элемента следует рассматривать с точки зрения его химической токсичности, а не радиационной опасности.

**Торий.** Торий переходит в биологические системы в гораздо меньшей степени, чем уран. Торий-232, родоначальник ряда тория, был

обнаружен в низких концентрациях в листе растений. Опыты, в которых растения выращивались на растворах, содержащих торий, показали, что он легко адсорбируется корнями, но его перемещение в листьях незначительно. Низкие концентрации тория в тканях растений в природных условиях, по-видимому, обусловлено его удерживанием на твердых фазах почвы и его слабой подвижностью в биологических системах (Радиоактивность и пища человека, 1971). Широкий интервал содержаний тория в наземной растительности (8-1300 мкг/кг) приводятся Боуэном, а для овощей даются содержание тория от 5 до 20 мкг/кг (все на сухую массу). Удельная активность тория-232 в растениях степного разнотравья составляет 2,5 Бк/кг (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Средние значения коэффициентов накопления тория-232 некоторыми группами растений составляют: ранотравье-0,07, злаковые травы-0,01, пастбищные травы-0,37 (IAEA, 2009). Для сельскохозяйственных культур: пшеница (зерно-0,003 солома-0,01), ячмень (зерно-0,005, солома-0,01), картофель (клубни-0,009, ботва-0,08), сахарная свекла (корнеплоды-0,017, ботва-0,09), однолетние сеянные травы-0,028, многолетние сеянные травы-0,032, клевер-0,024, люцерна-0,0097, кукуруза, зеленная масса-0,015 (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992).

Содержание тория в наземной части дикорастущих растений Прииссыкулья варьировало от  $0,2 \times 10^{-5}$  до  $0,3 \times 10^{-3}\%$ , при среднем значении  $0,13 \times 10^{-4}\%$ . Растения, произрастающие на горных светло-каштановых почвах содержат больше тория, чем растения, произрастающие на других типах почв. Отдельные виды растений, такие как, Карагана белокорая, Полынь эстрагон, Ковыль волосатик концентрируют торий от  $0,2$  до  $0,9 \times 10^{-4}\%$ . Дикорастущие растения, произрастающие на черноземных почвах, такие как Зверобой, Душица обыкновенная, Клевер луговой, Подорожник, Одуванчик характеризовались более низкими концентрациями тория  $0,1 - 0,3 \times 10^{-5}\%$ . Значения коэффициентов накопления по торю в зависимости от почвенно-климатических условий мест произрастания, видовых особенностей растений варьировали в пределах 0,001-0,02, при среднем значении-0,01, что не превышает значений коэффициентов накопления тория в разнотравье, злаковых и пастбищных травах рекомендованных IAEA. Удельная активность тория-228 в дикорастущих растениях Прииссыкулья варьировала в пределах 0,26-6,93 Бк/кг, при среднем значении 3,6 Бк/кг. В зерновых культурах (озимая пшеница, яровой ячмень) содержание тория варьировало в зерне -  $0,6 \times 10^{-6}$  -  $0,21 \times 10^{-5}\%$ , в соломе 0,17 -  $0,54 \times 10^{-5}\%$ . Коэффициент накопления тория для зерна пшеницы составил -  $0,1 \times 10^{-2}$ , для зерна ячменя -  $0,7 \times 10^{-2}$ ; для соломы пшеницы -  $0,3 \times 10^{-2}$ , для соломы ячменя -  $0,2 \times 10^{-2}$ , что свидетельствует о

незначительном накоплении тория, как в основной, так и в побочной продукции зерновых культур. Удельная активность тория-228 в зерне пшеницы составила 0,17 Бк/кг, в соломе - 0,46 Бк/кг, в зерне ячменя 0,12 Бк/кг, в соломе - 0,36 Бк/кг.

**Радий.** По А.П. Виноградову (1957) среднее кларковое содержание радия-226 в золе растений составляет  $n \times 10^{-11}\%$ . Согласно Боуэну, содержание радия-226 в растениях варьирует от  $0,3 \times 10^{-11}$  до  $1,6 \times 10^{-12}\%$  сухой массы (Кабата-Пендиас, 1989).

Миграция радия-226 в системе почва-растение имеет ряд особенностей. КБН его растениями, произрастающими на почвах сформированных, на выходах горных пород, обычно выше 1. При этом практически в каждой группе растений (лишайники, мхи, папоротники, кустарнички, кустарники, деревья) встречаются виды с высокой интенсивностью поглощения радия-226. Особенно отчетливо свойство избирательного поглощения радия-226 проявляется у представителей семейства розоцветных (рябина обыкновенная) вересковых (багульник стелящийся), брусничных (черника, голубика), березовых (береза извилистая). Наименьший КБН был отмечен у хвои кедрового. Установлено, что радий-226 интенсивнее поглощается большинством видов растений, чем уран-238 в системе почва-растение. На различную подвижность урана-238 и радия-226 указывает наблюдаемый в растениях сдвиг радиоактивного равновесия в сторону дочернего радионуклида, который наиболее резко выражен у древесных растений кустарников и кустарничков, избирательно поглощающих радий-226. У споровых растений, также селективно усваивающих уран-238, тоже наблюдается сдвиг в сторону радия-226, но он выражен в значительно меньшей степени (Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере, 1990). Средние значения коэффициентов накопления по радю-226 в растениях разных групп составляют, для разнотравья - 0,26, для злаковых трав - 0,09, для пастбищных трав - 0,19 (IAEA, 2009). Для зерновых культур: пшеница (зерно-0,0075, солома-0,038), ячмень (зерно-0,0067, солома-0,032) (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992).

Содержание радия в наземной части дикорастущих растений Прииссыкулья было равномерным и составило 10,4 -  $17,6 \times 10^{-4}\%$ , при среднем значении  $14,1 \times 10^{-11}\%$ . Такие виды растений, как Карагана белокорая, Полынь эстрагон, Гармала обыкновенная, Полынь тяньшаньская концентрировали радий от 15,3 до  $28,3 \times 10^{-11}\%$ . По сравнению с ураном и торием, радий в большей степени концентрировался в наземной части дикорастущих растений, что свидетельствует о более высоких коэффициентах накопления радия 0,36-1,3, при среднем значении

- 0,75. Средняя удельная активность радия-226 составила 5,1 Бк/кг, при коэффициенте накопления радия-226 - 0,016, что находится в пределах средних значений коэффициентов накопления радия-226, рекомендованных IAEA.

Радиоактивное равновесие радий-226/уран-238 сдвинуто в сторону радия-226 - 1,2, это свидетельствует о преобладающих концентрациях дочернего радионуклида в наземных частях растений. Коэффициенты накопления радия в зерновых культурах были минимальными, по накоплению в зерне озимой пшеницы и ярового ячменя тяжелые естественные радионуклиды образуют ряд: радий-226 > уран-238 > торий-232.

**Калий-40.** Калий-40 один из основных (по активности) естественных радионуклидов широко распространенных в почвах, растениях и других объектах окружающей природной среды. Учитывая это, введено специальное понятие «калийный фон», отражающий вклад калия-40 в суммарное содержание радионуклидов. Удельная активность калия-40 в наземной части дикорастущих видов растений Прииссыккуля варьировало в пределах 105,0-157,5 Бк/кг, при среднем 139,1 Бк/кг. Отдельные виды дикорастущих растений концентрировали данный радионуклид в достаточно повышенных концентрациях такие как, Полынь эстрагон - 220,5 Бк/кг, Пырей ползучий - 204,7 Бк/кг, Типчак валезийский - 183,7 Бк/кг, Клевер луговой - 188,7 Бк/кг. Коэффициенты накопления варьировали в зависимости от типа почв, на которых произрастали растения, так на светло-бурых - 0,11, серо-бурых - 0,16, горных светло-каштановых - 0,16, горно-долинных светло-каштановых - 0,14, черноземах - 0,15. Среднее значение коэффициента накопления по региону составило - 0,14, что не превышает коэффициентов накопления рекомендованных IAEA по калию-40 для степного разнотравья - 0,4, для злаковых трав - 1,1, для пастбищной растительности - 0,7 (IAEA, 2009).

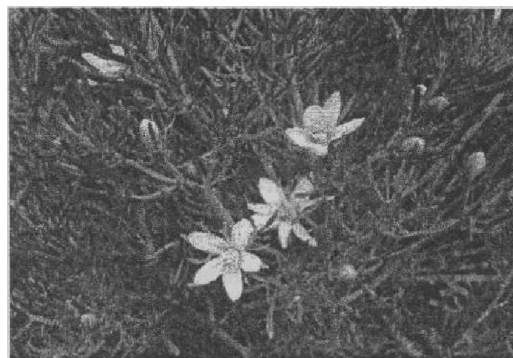
Удельная активность калия-40 в зерне зерновых культур из различных почвенно-климатических зон бывшего СССР варьирует в пределах от 141 до 148 Бк/кг, при коэффициентах накопления 0,15-0,30 (Сельскохозяйственная радиозология, 1992).

В зерне озимой пшеницы выращенной в условиях Прииссыккуля содержание калия-40 составило 102,6-136,4 Бк/кг, при коэффициентах накопления радионуклида 0,12-0,16, в соломе - 115-175,0 Бк/кг, коэффициент накопления -- 0,13-0,17. То есть в основной продукции содержание калия-40 было меньше чем в побочной продукции. Аналогичные значения удельной активности и коэффициентов накопления радионуклида в зерне и соломе наблюдались у ярового ячменя.

В целом результаты исследований показали, что наибольшее содержание в наземной части растений наблюдается для калия-40, как одного из наиболее распространенных в природе

естественных радионуклидов, который, в свою очередь, является одним из основных источников естественной радиоактивности. Удельная активность в растениях урана-238, радия-226 была на порядок ниже.

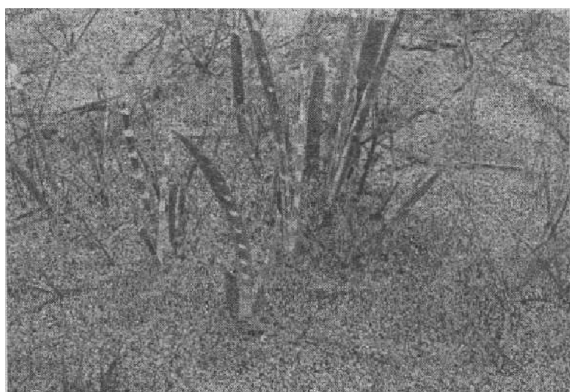
Необычным с точки зрения радиозологических исследований является растительность урановой техногенной провинции Каджи-Сай. Она характеризуется следующими ассоциациями: ксерофитно-кустарниковыми, полынно-эфимеровыми пустынями, колючеподушечниками (аканталимон алатавский, вьюнок трагакантовый). Растительный покров разрежен, проектное покрытие колеблется от 5 до 10% и лишь на отдельных участках до 50% (Дженбаев, 2009). Содержание урана в различных видах полыни (*Artemisia*) в районе хвостохранилища сравнительно не высокое по отношению к региону в целом - 0,03-0,04x10<sup>-6</sup>г/г. Представители бобовых (*Salicaceae*) - астрагал (*Astragalus*) и донник (*Melilotus*) содержат до 0,09\*10<sup>-6</sup> г/г, тогда как у злаковых (*Poaceae*) - костер кровельный (*Bromus tectorum*) урана содержится в два раза больше до 0,17x10<sup>-6</sup>г/г. По данным Быковченко Ю. данные виды растений могут служить в качестве фитомелиорантов для реабилитации хвостохранилища (Быковченко и др., 2005). По результатам наших исследований, процентное содержание урана, в растениях техногенной урановой провинции "Каджи-Сай" составляет от 0,17 до 4,0x10<sup>-6</sup>%. Следовательно, есть основания говорить, что большинство растений данной территории имеют повышенное содержание урана по сравнению с другими районами региона. Произрастание растений в среде с повышенной концентрацией урана не только сопровождается изменением их биопродуктивности, но и вызывает некоторую морфологическую изменчивость в частности:



**Рис. 5.** У цветков гармалы вместо обычных 5 лепестков было отмечено 6-7 и частичное их раздвоение.



**Рис. 6.** У черного колосника наблюдаются значительные морфологические изменения - низкорослые формы с ветвистыми соцветиями вместо прямой одиночной стрелки.



**Рис. 7.** Цветовая мозаика листьев растений семейства Ирисовых (Iridaceae) вид-Iris songarica Schrenk

Из приведенных примеров видно, что экологическая обстановка в техногенных зонах оказывает сильное влияние на накопление урана растениями и возникновения у них изменчивости. Поэтому при обсуждении полученных данных по вопросам концентрирования урана (как и в случае других элементов) растительностью следует всегда учитывать экологическую обстановку и возможные адаптации растительных организмов к концентрации урана к среде.

Выявленная изменчивость растений в связи с накоплением урана представляет большой интерес и заслуживает более детального научного изучения.

#### Литература:

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Изд. 2-е. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 239с.
2. Дженбаев Б.М. Геохимическая экология наземных организмов. - Б.: "Maxprint", - 2009. - 242с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439с.
4. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974.-281с.
5. Малога Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений урана. М.: Энергия, 1981. 159с.
6. Радиоактивность и пища человека / Под ред. Р.С. Расселла. М.: Атомиздат, 1971.376с.
7. Сельскохозяйственная радиэкология: Учебник. Под ред. Алексахина Р.М. М.:Изд-во «Экология», 1992. - 400с.
8. Сельскохозяйственная радиэкология: Учебник. Под ред. Алексахина Р.М. М.:Изд-во «Экология», 1992. - 400с.
9. Султанбаев А.С. Содержание урана в растениях Северной Киргизии. В кн.: Соверш. технол. возделывания с.-х. культур - науч. основа интенсификации растениеводства в Киргизии. Фрунзе, 1977.-Вып. 15.-С. 186-191.
10. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы И Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов и др. Под ред. Алексахина Р.М. - М.: Наука, 1990.-350с.
11. Cannon H. The effects of uranium-vanadium deposits on the vegetation of Colorado plateau // Amer. J. Sci. 1952. Vol. 250, №10. P.735-770.
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA-TECDOC-1616, IAEA, Vienna (2009).

Рецензент: д.биол.н., профессор Мурсалиев А.М.