

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ ЕНИСЕЙ

© 2011 Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Поступила в редакцию 17.05.2011

В работе исследовали накопление радионуклидов в 5 видах ягодных кустарников из лесов поймы р. Енисей (Красноярский край). Были определены удельные активности ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}U и трансурановых элементов в надземных органах кустарников и рассчитаны их коэффициенты накопления (КН). Анализ рассчитанных КН показал, что кустарники в наибольшей степени аккумулируют ^{90}Sr (КН=0,25-1,9). Максимальное накопление ^{137}Cs характерно для ягод и листьев *Ribes nigrum* и *Rubus idaeus*. Для этих видов диапазон значений КН ^{137}Cs (0,006-0,027) пересекается с диапазоном КН ^{238}U (0,004-0,018). Полученный диапазон КН трансурановых радионуклидов (0,01-0,056) для надземных органов *Ribes nigrum* сопоставим или выше КН ^{238}U и ^{137}Cs .

Ключевые слова: радионуклиды, коэффициент накопления, растения, Енисей

Наземные экосистемы планеты загрязнены техногенными радионуклидами, в их числе находится бассейн р. Енисей в зоне влияния Горнохимического комбината (ГХК), производившего оружейный плутоний. В почве на пойменных участках р. Енисей регистрируется широкий перечень техногенных радионуклидов, в том числе трансурановых. Сведения о накоплении радионуклидов в лесных экосистемах этих районов единичны и относятся главным образом к изучению загрязнения древесных растений как основного объекта лесопользования. Другие растительные компоненты лесных экосистем, такие как кустарники, которые также участвуют в накоплении и перераспределении радионуклидов, ранее не анализировались [1, 2].

Цель работы: оценка переноса техногенных радионуклидов, в том числе трансурановых, в ягодные кустарники за счёт корневого поступления.

Материалы и методы. В ягодных кустарниках *Ribes hispidulum* (Jancz.) Pojark, *Ribes nigrum* L., *Rosa majalis* Herzm., *Rubus idaeus* L. и *Viburnum opulus* L. в 30-км зоне ГХК было проведено исследование накопления радионуклидов за счёт корневого поступления из почвы. Образцы кустарников и почвы собирали в 2004-2010 гг. вблизи населённых пунктов (см. рис.): «Красноярск» – присутствуют только глобальные выпадения радионуклидов; «Железногорск» 66 км вниз по течению от Красноярска, «Атаманово (село)» (88 км) и «Балчуг (село)» (98 км) – загрязнённые в результате аэрозольных выпадений от ГХК; «Атаманово (остров)» и «Балчуг (остров)» – пойменные участки р. Енисей, загрязнённые в результате водных сбросов ГХК.

Дементьев Дмитрий Владимирович, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории радиоэкологии. E-mail: dementyev@gmail.com

Болсуновский Александр Яковлевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиоэкологии. E-mail: radecol@ibp.ru



Рис. Карта-схема района отбора проб (Красноярский край)

Собранные в период плодоношения образцы ягодных кустарников разделяли на органы (ветки, листья, ягоды) и высушивали при 65°C. Высушенные пробы взвешивали и озоляли при 450°C. Удельную активность γ -излучающих радионуклидов в навесках определяли на γ -спектрометре Canberra (США) с полупроводниковым германиевым детектором GX2320 (23%). Полученные γ -спектры обрабатывали в программном пакете Canberra GENIE-2000 (США). Концентрацию ^{238}U в образцах определяли инструментальным нейтронно-активационным методом на базе Томского политехнического университета. Радиохимические исследования образцов кустарников и почв с пойменного участка «Атаманово (остров)» на содержание α -излучающих изотопов (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и $^{243,244}\text{Cm}$) и β -излучающего ^{90}Sr проводили в МосНПО «Радон» (г. Москва). Методики и приборное оборудование для анализа на радиостронций и трансурановые радионуклиды приведены в работе [3]. Все

удельные активности радионуклидов приведены на воздушно-сухую массу образцов.

Результаты и обсуждение. Загрязнение почв на изучаемой территории носит неоднородный характер вследствие сложного рельефа и разных источников поступления радионуклидов. В настоящее время в пойменных почвах ниже по течению от ГХК определяются ^{60}Co , ^{137}Cs , $^{152,154}\text{Eu}$, ^{90}Sr , ^{238}U , а также изотопы трансурановых элементов: ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и $^{243,244}\text{Cm}$ [2, 3]. На исследованных участках в пробах *Ribes hispidulum*, *Ribes nigrum*, *Rosa majalis*, *Rubus idaeus* и *Viburnum opulus* измеренная удельная активность ^{137}Cs составляет 0,2–64 Бк/кг. В пробах наземной фитомассы кустарников с пойменных почв зарегистрирован ^{60}Co – до 8,4 Бк/кг; накопление растениями других γ -излучающих техногенных радионуклидов не обнаружено. На участках только с аэрозольным поступлением радионуклидов в собранных образцах кустарников зарегистрирован только ^{137}Cs с уровнями активности близких к пределу обнаружения. В кустарниках *Ribes nigrum*, *Rosa majalis* и *Viburnum opulus* максимальная удельная активность ^{137}Cs измерена в ягодах – до 64 Бк/кг. Листья видов *Ribes hispidulum* и *Rubus idaeus* характеризуются максимальной активностью ^{137}Cs (до 51 Бк/кг).

В видах *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* отмечено повышенное накопление ^{137}Cs , поэтому они были выбраны для более детального изучения, включая радиохимический анализ [2, 3]. В наземных органах *Ribes nigrum* удельная активность ^{60}Co и ^{137}Cs в листьях в 1,5-3 раза выше, чем в ветках, что можно объяснить проводящей функцией ветвей в период активной вегетации. Распределение ^{137}Cs по органам кустарников *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* одинаково. По результатам радиохимического анализа ^{90}Sr в *Ribes nigrum* в наибольшей степени накапливается в листьях (до 60 Бк/кг) и в наименьшей в ягодах – до 3,8 Бк/кг [2].

Пойма р. Енисей загрязнена техногенными радионуклидами (^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и др.), являющихся как продуктами активации стабильных изотопов, так и продуктами деления ^{238}U . Можно предположить, что вместе с техногенными радионуклидами в окружающую среду происходит поступление ^{238}U и трансурановых элементов (изотопы Pu, Am, Cm). Результаты определения содержания ^{238}U в ягодных кустарниках *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* показывают, что ^{238}U в *Ribes nigrum* преимущественно накапливается в ветках и листьях. В работах по накоплению естественных радионуклидов показано, что для древесных и кустарниковых растений характерно большее накопление данных нуклидов в старых органах (ствол, ветви), чем в молодых (листья, хвоя) [4, 5]. В нашей работе так же было отмечено преимущественное накопление ^{238}U в ветвях по сравнению с листьями. Диапазон концентрации ^{238}U в наземных органах составляет 0,012-

0,14 мг/кг. В пробах наиболее загрязнённого радионуклидами пойменного участка «Атаманово (остров)» был проведён анализ на содержание трансурановых элементов [3]. Максимальное накопление изотопов трансурановых элементов в наземной фитомассе *Ribes nigrum* определено в листьях ($^{239,240}\text{Pu}$ до 0,4 Бк/кг; $^{243,244}\text{Cm}$ до 0,05 Бк/кг) и ягоде ($^{239,240}\text{Pu}$ до 0,88 Бк/кг и $^{243,244}\text{Cm}$ до 0,03 Бк/кг).

Оценку способности кустарников накапливать в своей биомассе радионуклиды проводили по рассчитанным коэффициентам накопления (КН). Наибольшие значения КН ^{137}Cs наблюдаются в листьях и ягодах (до 0,029) видов *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* (табл. 1). Полученные значения КН ^{137}Cs в ягодах данных видов хорошо согласуются с полученными ранее данными полевых исследований (0,020-0,034) [2]. В ветвях кустарников КН ^{137}Cs не превышает 0,009. Наиболее интенсивно в *Ribes nigrum* накапливается ^{90}Sr , для которого КН в листьях достигает 1,9, в ветвях – 0,9, в ягодах – 0,25, что сопоставимо с КН ^{137}Cs в грибах с этой же территории [2, 6]. Полученные низкие значения КН ^{90}Sr в ягодах по сравнению с другими органами *Ribes nigrum* хорошо согласуются с данными по чернобыльским выпадениям (0,26-0,66) [7]. По рассчитанным КН было получено, что накопление ^{137}Cs органами кустарников возрастает в ряду «ветки < листья < ягода», а для ^{90}Sr – в ряду «ягода < ветки < листья» [2]. Наибольшие значения КН ^{238}U в органах кустарников было зарегистрировано в ветках *Ribes nigrum* и *Rubus idaeus*. Диапазон значений КН ^{238}U (0,004-0,018), как видно из табл. 1 пресекается с диапазоном КН ^{137}Cs (0,006-0,027).

Таблица 1. Коэффициенты накопления радионуклидов в органах кустарников с участков с водным поступлением радионуклидов

КН	^{40}K	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}U
<i>Ribes nigrum</i>					
ветки	0,48	0,01	0,9	0,009	0,018
листья	0,94	0,02	1,9	0,029	0,011
ягода	1,19	<МДА	0,25	0,027	0,004
<i>Rubus idaeus</i>					
ветки	0,69	<МДА	н.о.	0,006	0,008
листья	1,34	<МДА	н.о.	0,008	<МДА
ягода	1,20	<МДА	н.о.	0,010	<МДА

Примечание: МДА – минимально детектируемая активность; н.о. – не определялась

Трансурановые элементы в наземной фитомассе *Ribes nigrum* наиболее интенсивно накапливаются в листьях и ягоде. По рассчитанным КН (табл. 2) было получено, что накопление $^{243,244}\text{Cm}$ в органах смородины возрастает в ряду «ветки < ягоды < листья», $^{239,240}\text{Pu}$ – «ветки < листья < ягоды». Для наземных органов *Ribes nigrum* КН трансурановых радионуклидов (0,01-0,056) сопоставимы или выше КН ^{238}U и ^{137}Cs . По опубликованным ранее данным [8,9] КН Pu и Am

на порядок меньше КН ^{137}Cs . Полученные нами более высокие значения КН трансурановых элементов могут быть связаны с различиями в формах поступления трансурановых радионуклидов в почву на исследуемой территории.

Таблица 2. Коэффициенты накопления трансурановых радионуклидов в органах *Ribes nigrum* с участка «Атаманово (остров)»

КН	$^{239,240}\text{Pu}$	^{241}Am	$^{243,244}\text{Cm}$
корни	0,027	0,051	0,073
ветки	0,010	0,025	0,018
листья	0,026	0,051	0,045
ягода	0,056	< МДА	0,027

Выводы: отмеченные неоднородности распределения радионуклидов в почве и сопоставимость значений КН ^{137}Cs и трансурановых радионуклидов позволяют ожидать более высоких значений удельной активности трансурановых элементов в растениях на отдельных участках поймы р. Енисей. Данному вопросу в настоящее время посвящены единичные исследования, что делает необходимым развивать подобные работы на территории Красноярского края, несмотря на сложность в определении трансурановых элементов в объектах окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Bolsunovsky, A.* Actinides and other radionuclides in sediments and submerged plants of the Yenisei River / *A. Bolsunovsky, L. Bondareva* // *J. Alloy. Compd.* 2007. No. 444-445. Pp. 495-499.
2. *Bolsunovsky, A.Ya.* Accumulation of artificial radionuclides by edible wild mushrooms and berries in the forests of the central part of the Krasnoyarskii Krai / *A.Ya. Bolsunovsky, D.V. Dementyev* // *Radioprotection.* 2009. No 5(44). Pp. 115-120.
3. *Bolsunovsky, A.* New data on transuranium elements in the ecosystem of the Yenisei River floodplain / *A. Bolsunovsky, A. Ermakov, A. Sobolev* // *Radiochim. Acta.* 2007. No. 95(9). Pp. 547-552.
4. *Ковалевский, А.Л.* Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. Монография / *А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская.* – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 362 с.
5. *Чевывелов, А.П.* Миграция естественных радионуклидов в техногенных таежно-мерзлотных ландшафтах Южной Якутии. Монография / *А.П. Чевывелов, П.И. Собакин.* – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 138 с.
6. *Болсуновский, А.Я.* Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния Красноярского Горно-химического комбината / *А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев, Д.Г. Бондарева* // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2006. №1(46). С. 67-74.
7. *Lux, D.* Cycling of Pu, Sr, Cs, and other longliving radionuclides in forest ecosystems of 30-km zone around Chernobyl / *D. Lux, L. Kammerer, W. Ruhm, E. Wirth* // *Sci. Total Environ.* 1995. No. 173/174. Pp. 375-384.
8. *Carini, F.* Radionuclide transfer from soil to fruit // *J. Environ. Radioactivity.* 2001. No. 52. Pp. 237-279.
9. *Green, N.* Transfer of radionuclides to fruit / *N. Green, B.T. Wilkins, D.J. Hammond* // *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 1997. No. 226(1-2). Pp.195-200.

RADIONUCLIDES ACCUMULATION BY BERRY BUSHES IN FOREST ECOSYSTEMS OF YENISEI RIVER BASIN

© 2011 D.V. Dementyev, A.Ya. Bolsunovsky

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk

In work investigated accumulation of radionuclides in 5 kinds of berry bushes from flood plain forests of Yenisei river (Krasnoyarsk region). Have been defined specific activity of ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}U and transuranium elements in elevated bodies of bushes and their factors of accumulation (KH) are calculated. The analysis of calculated KH has shown that bushes in the greatest degree accumulate ^{90}Sr (KH=0,25-1,9). The maximum accumulation of ^{137}Cs is characteristic for *Ribes nigrum* and *Rubus idaeus* berries and leaves. For these kinds the range of values KH of ^{137}Cs (0,006-0,027) is crossed with range KH of ^{238}U (0,004-0,018). Received range KH of transuranium radionuclides (0,01-0,056) for elevated bodies of *Ribes nigrum* is comparable or above KH of ^{238}U and ^{137}Cs .

Key words: *radionuclides, factor of accumulation, plant, Yenisei*