Journal of Siberian Federal University. Biology 2 (2009 2) 172-181
~ ~ ~

УДК 579.5:539.752+577(Т2-575):582.16

Содержание техногенных радионуклидов в кустарниковых растениях и грибах в зоне влияния Горно-химического комбината (Красноярский край)

Д.В. Дементьев*, А.Я. Болсуновский
Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук
Россия 660036, Красноярск, Академгородок [1]

Received 1.06.2009, received in revised form 8.06.2009, accepted 15.06.2009

В работе исследовали накопление радионуклидов из почвы грибами и ягодными кустарниками в зоне влияния Горно-химического комбината (Красноярский край, Россия). Показано, что на данной территории биоиндикативные свойства в полной мере проявляют грибы Suillus granulatus и S. luteus, для которых уровень накопления ^{137}Cs может достигать 10 кБк/кг сухой массы. Значения коэффициента накопления ^{137}Cs грибами изменяется в 5 раз для участков с разными источниками поступления радионуклидов в почву. Уровень накопления радионуклидов ягодными кустарниками на 2-3 порядка ниже, чем грибами. Интенсивность накопления радионуклидов в органах кустарников Rubus idaeus и Ribes nigrum возрастает для ^{60}Co и ^{137}Cs в ряду «ветки<листья~ягода», для ^{90}Sr – «ягода<ветки<листья».

Ключевые слова: радионуклиды, коэффициент накопления, грибы, кустарники.

Введение

На исследованной территории центральной части Красноярского края можно выделить два источника поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду: глобальные выпадения радионуклидов в результате испытаний ядерного оружия и поступление радионуклидов в результате деятельности Горно-химического комбината (ГХК) г. Железногорска. Поступление радионуклидов в результате деятельности ГХК происходит двумя путями: локальное аэрозольное загрязнение территорий и загрязнение поймы р. Енисей, в том числе через вынос загрязнённых радионуклидами донных отложений во время паводков (Bolsunovsky, Bondareva, 2007).

Значительную часть территорий, находящихся в зоне воздействия ГХК, занимают лесные массивы. Сведения о накоплении радионуклидов в лесных экосистемах этих районов имеют отрывочный характер и относятся, главным образом, к изучению загрязнения древесных растений как основного объекта лесопользования; между тем, другие компоненты лесных экосистем, в частности грибы и ягодные кустарники, могут более интенсивно накапливать радионуклиды (Носов, Мартынова, 1996; Болсуновский и др., 2006).

Целью работы является оценка интенсивности накопления техногенных радионуклидов грибами и кустарниками в лесных

* Corresponding author E-mail address: dementyev@gmail.com
[1] © Siberian Federal University. All rights reserved

экосистемах Красноярского края в зоне влияния Горно-химического комбината.

Материалы и методы

Объектами исследований в лесных экосистемах центральной части Красноярского края стали почва, 12 видов грибов и 5 видов ягодных кустарников на следующих участках: фоновый – «Красноярск» (0 км), загрязнённый только в результате глобальных аэрозольных выпадений; участки «Железногорск» (66 км), «Атаманово (село)» (88 км), «Балчуг (село)» (98 км), загрязнённые в результате глобальных выпадений и аэрозольных выбросов ГХК; пойменные участки р. Енисей ниже сброса ГХК – «Атаманово (остров)» (88 км) и «Балчуг (берег)» (98 км) с водным путём поступления техногенных радионуклидов, в основном за счёт выноса загрязнённых радионуклидами донных отложений во время паводков (рис. 1).

Отобранные пробы растений и грибов разделяли по видам, растения – на органы. Все пробы сушили при 65 °С в сушильном шкафу и определяли сухую массу образцов. Сухие пробы растений озоляли в муфельной печи при 450 °С, после чего вычисляли их коэффициент зольности для дальнейшего перерасчёта определяемых значений на сухую массу. За весь период исследования, с 2002 по 2007 гг., были отобраны 163 пробы грибов (из них 141 – в зоне влияния ГХК), 139 проб кустарников (120 – в зоне влияния ГХК) и 114 проб почвы (90 – в зоне влияния ГХК).

Во всех пробах определяли содержание гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). Полученные спектры обрабатывали с помощью программного обеспечения CANBERRA GENIE 2000 (США).

На пойменном участке «Атаманово (остров)» в пробах кустарника *Ribes nigrum* L. и почвы определяли содержание ^{90}Sr по дочернему ^{90}Y. Выделенный радиохимически препарат ^{90}Y измеряли на низкофоновом α-β-газопроточном пропорциональном счётчике и на ЖСС Tri-Carb 2800TR (США). Все зна-

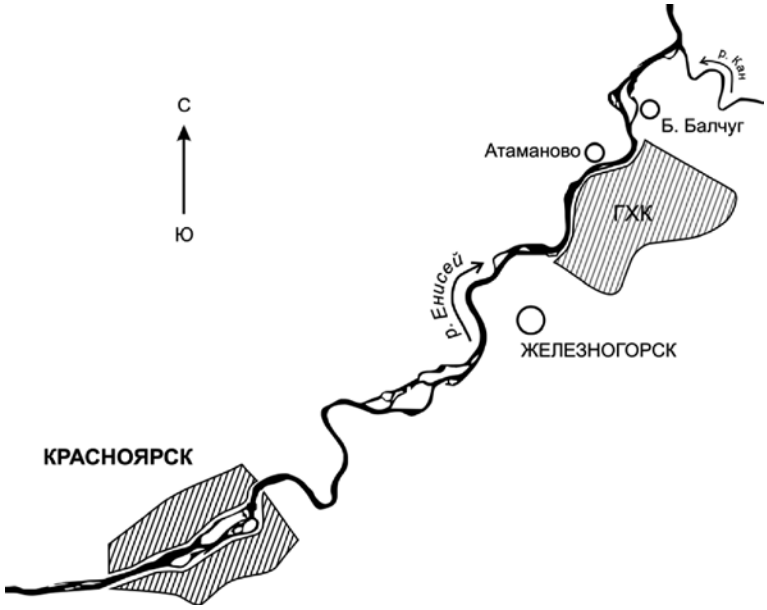

Рис. 1. Карта-схема Красноярского края (Россия) с указанием населённых пунктов, возле которых проводился отбор проб

чения удельных активностей радионуклидов рассчитаны для воздушно-сухой массы образцов.

Для определения формы нахождения радионуклидов в пробах почвы и грибов использовали метод последовательного химического фракционирования. Фракционирование почвы проводили по схеме Тисера (Barreto et al., 2004) в модификации Клемта (Klemt et al., 2002) (табл. 1). Для химического фракционирования грибов использовали схему, приведённую в табл. 2, уже опробованную ранее (Болсуновский и др., 2006). По данной схеме радионуклиды, вышедшие во фракции I+II, адсорбированы на внешней поверхности клеток, во фракции III – нуклиды, связанные с органическими компонентами, фракция IV– минеральный остаток. Для интерпретации результатов последовательного химического фракционирования почвы и грибов было предложено считать радионуклиды, оставшиеся в неразложившемся остатке, «фиксированными», остальную часть, перешедшую в раствор при фракционировании, – «подвижными».

Результаты и обсуждение

Радионуклиды в почве. По типу поступления радионуклидов в почву исследованные участки были разделены на две группы: незатапливаемые участки с аэрозольным поступлением радионуклидов и пойменные территории с водным поступлением радионуклидов. Районы первой группы характеризуются дерново-слабоподзолистой почвой, на затапливаемых участках второй группы – аллювиальные дерновые почвы. По данным термогравиметрического анализа доля органики в изученных пробах почв не превышала 4,8 %.

По результатам лабораторных спектрометрических измерений на участках «Железногорск», «Атаманово (село)», «Балчуг (село)» в верхнем 10-сантиметровом слое почв из техногенных радионуклидов зарегистрирован только ^{137}Cs. Его удельная активность в

Таблица 1. Схема последовательного химического фракционирования образцов почвы

Фракция	Химические реагенты	Условия
I Обменная	CH_3COONH_4 (1M)	Перемешивание 24 ч
II Карбонаты + аморфные материалы	CH_3COONH_4 (1M) + HNO_3 (1M) до pH=5	Перемешивание до состояния равновесия (~8 ч)
III Оксиды и гидроксиды Fe, Mn	$NH_4OH{\cdot}HCl$ (0,2M) в CH_3COOH (25 %)	Перемешивание 3 ч
IV Органическое вещество	H_2O_2 (35 %) + HNO_3 (1M) до 0,05M	Перемешивание 3 ч, при 85 °C
V Аморфные силикаты	NaOH (0,2M)	Перемешивание 40 мин, при 80 °C
VI Неразложившийся остаток		Остаток после удаления предыдущей фракции

Таблица 2. Схема последовательного химического фракционирования образцов грибов

Фракция	Химические реагенты	Условия
I+IIПоверхностно-адсорбционная	H_2SO_4 (0,1M)	Перемешивание 4 ч
III Органическое вещество биомассы	H_2O_2 (35 %) + HNO_3 (1M) до 0,05M	Нагревание 1-1,5 ч, при 85 °C
IV Неразложившийся остаток		Остаток после удаления предыдущей фракции

почвах в зоне ГХК в 2-3 раза превышает фоновое значение участка «Красноярск» и достигает 100 Бк/кг.

В пойменных почвах участка «Атаманово (остров)» гамма-спектрометрический анализ показал наличие: ^{60}Co – до 160 Бк/кг, ^{137}Cs – до 1800 Бк/кг, ^{152}Eu – до 400 Бк/кг, ^{154}Eu – до 60 Бк/кг, ^{155}Eu – до 12 Бк/кг и ^{241}Am – до 25 Бк/кг. Также в этих почвах было определено содержание ^{90}Sr – до 26 Бк/кг. Такое разнообразие радионуклидов в пойменных почвах р. Енисей возникло в результате выноса донных отложений, загрязнённых радионуклидами, во время сильных паводков. Проведённые исследования показали крайне неоднородное распределение радионуклидов в почвах участка «Атаманово (остров)» – средняя удельная активность ^{137}Cs в центре острова в 2,5 раза ниже по сравнению с его береговой частью. Весь измеренный интервал содержания ^{137}Cs составляет 400 – 1800 Бк/кг. Неоднородность распределения ^{137}Cs, хоть и не столь значительная, наблюдается и на других участках. Подобная же неоднородность распределения характерна и для других техногенных радионуклидов.

Из всего запаса радионуклидов в почвах грибами и растениями может усваиваться только та часть, которая находится в почвенном растворе или может перейти в этот раствор (Mytennaere et al. 1993; Tikhomirov et al. 1993). С помощью последовательного химического фракционирования была определена доля подвижных радионуклидов в почвах, которая потенциально может усваиваться организмами. По результатам фракционирования получено, что более 90 % ^{137}Cs в почве находится в фиксированном состоянии (рис. 2). Распределение ^{137}Cs по фракциям, объединённым в подвижную часть, от общего его содержания, следующее: «обменная» – 3 %, «карбонаты + аморфные материалы» – 1 %, «оксиды и гидроксиды Fe, Mn» – 0,4 %, «органическое вещество» – 2,5 %, «аморфные силикаты» – 0,6 %. Для ^{60}Co и ^{152}Eu доли подвижной и фиксированной части одинаковы.

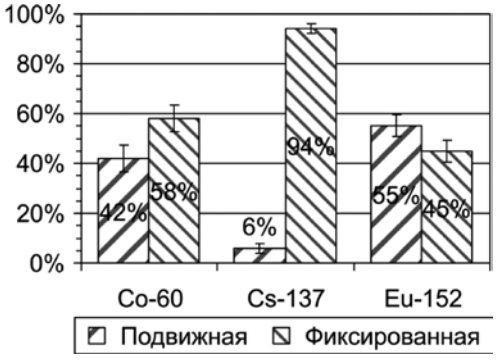

Рис. 2. Подвижность радионуклидов в почве участка “Атаманово (остров)” по результатам последовательного химического фракционирования (приведён интервал стандартной ошибки для n=6)

Радионуклиды в грибах. В исследованных ранее 12 видах грибов (табл. 3) из техногенных гамма-излучающих радионуклидов, присутствующих в почвах, накапливается только ^{137}Cs, для которого наблюдается ярко выраженная видовая зависимость и видовые различия в уровнях накопления достигают двух порядков величины. Так, для грибов, собранных в районах с аэрозольным поступлением радионуклидов («Железногорск», «Атаманово (село)», «Балчуг»), удельная активность ^{137}Cs изменяется от единиц до сотен Бк/кг (Болсуновский и др., 2006). На участке «Атаманово (остров)» удельная активность ^{137}Cs в грибах разных видов изменяется от 100 до 10000 Бк/кг.

Из изученных видов грибов биоиндикативные свойства проявляют *S. granulatus* и *S. luteus*: они показали максимальные уровни содержания ^{137}Cs и широко распространены на данной территории. Достоверных различий в накоплении ^{137}Cs между этими двумя видами не выявлено.

Из полученных данных следует, что в пределах одного района удельная актив-

Таблица 3. Исследованные виды грибов

Семейство	Латинское название
Boletaceae	*Boletus edilus* Bull.: Fr.
	Leccinum scabrum (Bull.:Fr.) S.F. Gray
	Suillus granulatus (L.: Fr.) Roussel
	Suillus luteus (L.: Fr.) Roussel
Cantharellaceae	*Cantharellus cibarius* Fr.
Hydnaceae	*Hydnum repandum* L.: Fr.
Russulaceae	*Lactarius deliciosus* (L.: Fr.) S.F. Gray
	Lactarius resimus (Fr.: Fr.) Fr.
	Russula foetens Pers.: Fr.
	Russula vesca Fr.
Tricholomataceae	*Armillaria mellea* (Vahl : Fr.) Kumm
	Lyophyllum gambosum (Fr.) Sing

Таблица 4. Удельная активность ^{40}K и ^{137}Cs в *S. granulatus* and *S. luteus*, Бк/кг сухой массы

Поступление РН в почву	Место отбора	^{40}K (среднее)	^{137}Cs (среднее)	^{137}Cs (max)
Аэрозольное	«Атаманово (село)»	1210±40	160±20	304
	«Балчуг (село)»	1440±200	230±30	360
	«Железногорск»	1270±60	180±20	325
	«Красноярск»	1310±70	53±7	130
Водное	«Атаманово (остров)»	1130±100	5200±550	10200
	«Балчуг (берег)»	930±50	1700±50	1800

ность ^{137}Cs в плодовых телах грибов может отличаться в несколько раз, что обусловлено «пятнистым» характером загрязнения территорий, а также неоднородностью почвенного покрова. Средняя удельная активность ^{137}Cs в *S. granulatus* из районов, подверженных только аэрозольным радиоактивным выбросам ГХК, в 2-4 раза выше содержания ^{137}Cs в грибах контрольного района «Красноярск» (табл. 4). На пойменных участках удельная активность ^{137}Cs в *S. granulatus* и *S. luteus* достигала 10200 Бк/кг, что превышает установленный российскими нормативами предел (2500 Бк/кг по «Гигиенические…», 2002) и сопоставимо с уровнями накопления, наблюдаемыми на отдельных участках 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС (Зарубина, 2006).

Исследование возможного концентрирования ^{137}Cs в частях плодовых тел *S. granulatus* и *S. luteus* показало, что удельная активность ^{137}Cs в шляпках в 1,7-2,3 раза выше, чем в ножках. При определении степени связывания ^{137}Cs с биомассой *S. granulatus* и *S. luteus* установлено, что ^{137}Cs в них распределяется аналогично ^{40}K. Нами не было выявлено разницы в распределении ^{137}Cs в грибах, собранных в районах с разными источниками поступления ^{137}Cs. Наибольшая доля ^{137}Cs и ^{40}K находится в обменно-адсорбционной фракции (от 56 до 71 % общего содержания радионуклида). В органической фракции содержание ^{137}Cs и ^{40}K варьирует от 23 до 37 %. В минеральном остатке остаётся менее 6 % радионуклидов накопленных грибами и, следовательно, при

отмирании плодового тела большая часть ^{137}Cs быстро станет доступной для усвоения другими организмами.

В исследованных районах с аэрозольными выпадениями ^{137}Cs абсолютное содержание этого радионуклида в *S. granulatus* и *S. luteus* увеличивается линейно с увеличением содержания ^{137}Cs в почвах. Численной характеристикой интенсивности накопления радионуклидов из почвы в грибы является коэффициент накопления (КН):

$$KH = \frac{A_f}{A_s},$$

где A_f – удельная активности радионуклида в плодовом теле гриба, A_s – удельная активности радионуклида в почве. Рассчитанные средние значения коэффициентов накопления для ^{137}Cs и ^{40}K совпадают и составляют 3,0±0,3 (табл. 5). Для проб маслят из районов с водным источником поступления ^{137}Cs в почву отмеченная выше линейность в накоплении ^{137}Cs нарушается. Здесь значения коэффициента накопления ^{137}Cs возрастают более чем в 5 раз.

Проведённые исследования накопления радионуклидов грибами подтверждают, что грибы видов *S. granulatus* и *S. luteus* являются аккумуляторами радиоцезия. Вопрос о накоплении радионуклидов грибами с момента Чернобыльской аварии интенсивно изучается. Полученные значения коэффициентов накопления ^{137}Cs для группы микоризообразователей, к которой принадлежат *S. granulatus* и *S. luteus*, изменяются в пределах трёх порядков величины – 0,08-77 (Barnett et al., 1999). Для рода *Suillus* также отмечена широкая межвидовая вариабельность КН ^{137}Cs – в пределах двух порядков (Gillett, Crout, 2000). Исследования накопления радиоцезия грибами вида *S. luteus* показали КН ^{137}Cs равным 9 (Tsukada et al., 1998), что входит в полученный нами диапазон значений.

Радионуклиды в ягодных кустарниках. Накопление радионуклидов в кустарниковом ярусе изучали в компонентах надземной фитомассы *Ribes hispidulum* (Jancz.) Pojark, *Ribes nigrum* L., *Rosa majalis* Herrm., *Rubus idaeus* L., *Viburnum opulus* L. На всех исследованных участках в растениях зарегистрированы ^{40}K и ^{137}Cs. В пробах с пойменных почв в надземной фитомассе зафиксированы также ^{60}Co и ^{90}Sr, накопление других техногенных радионуклидов не было выявлено. Наблюдаемые уровни накопления ^{137}Cs растениями на 2-3 порядка ниже по сравнению с грибами. Также для выбранных видов ягодных кустарников отмечено, что накопление ^{137}Cs отличается не более чем в 2 раза, в то время как для грибов межвидовые различия накопления радиоцезия на тех же участках достигают 2 порядков.

Из выбранных видов *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* характеризуются повышенным накоплением радионуклидов, особенно в ягодах, поэтому они были выбраны для более детального изучения. Исследование проб надземной фитомассы этих кустарников показало наличие техногенных ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs (табл. 6), накопление других техногенных радионуклидов не зафиксировано. ^{137}Cs и ^{90}Sr накапливается во всех органах кустарников, ^{60}Co – только в листьях и ветвях. Для всех видов прослеживается 2-3-кратное различие между листьями и ветками в накоплении радионуклидов, что можно объяснить проводящей функцией ветвей в период активной вегетации.

На участках только с аэрозольным поступлением радионуклидов «Атаманово (село)», «Балчуг (село)», «Железногорск» и «Красноярск» из техногенных радионуклидов обнаружен лишь ^{137}Cs, причем содержание радиоцезия находилось на пределе обнаружения.

Таблица 5. Коэффициенты накопления (КН) ^{40}K и ^{137}Cs в грибах с участков с аэрозольным и водным источниками поступления радионуклидов

Поступление РН в почву	Место отбора	КН ^{40}K	КН ^{137}Cs
Аэрозольное	«Атаманово (село)»	2,7	3,0
	«Балчуг (село)»	3,3	2,9
	«Железногорск»	3,2	3,4
	«Красноярск»	2,9	2,7
	Среднее значение	3,0±0,3	3,0±0,3
Водное	«Балчуг (берег)»	2,1	4,7
	«Атаманово (остров)»	2,0	10–16

Таблица 6. Накопление радионуклидов кустарниками на участке “Атаманово (остров)” с водным источником поступления, Бк/кг сухой массы

	Радионуклид	*Ribes nigrum*	*Rubus idaeus*
Ветки	^{40}K	204±18	160±15
	^{90}Sr	11±2	н.о.
	^{60}Co	0,8±0,2	н.з.
	^{137}Cs	13±1	11±2
Листья	^{40}K	620±50	480±40
	^{90}Sr	45±6	н.о.
	^{60}Co	2,8±0,5	1,6±0,4
	^{137}Cs	29±2	17±1
Ягода	^{40}K	490±40	420±30
	^{90}Sr	3,8±0,6	н.о.
	^{60}Co	н.з.	н.з.
	^{137}Cs	23±3	17±2

Примечание: н.о. – не определялось; н.з. – не зафиксировано.

Показателем интенсивности переноса радионуклидов из почвы в растения является коэффициент накопления, который рассчитывают аналогично КН для грибов. Характер накопления калия в разных условиях произрастания одинаков. КН ^{40}K для веток малины и чёрной смородины равен 0,4-0,5, для листьев и ягод – 1-1,4.

Содержание ^{137}Cs в ягодных кустарниках увеличивается пропорционально с увеличением концентрации радионуклида в почве. Рассчитанные КН ^{137}Cs (рис. 3) лежат в диапазоне в 0,01-0,03, что на 1-2 порядка ниже значения КН ^{40}K, т. е. в этом случае аналоговая модель не может объяснить накопление цезия.

Наиболее интенсивно из техногенных радионуклидов в кустарниках накапливается ^{90}Sr. В чёрной смородине КН ^{90}Sr в листьях достигает 1,9, в ветвях – 0,9, в ягодах – 0,25, т. е. на 2 порядка выше, чем для ^{137}Cs. Как видно из рис. 3б, коэффициенты накопления ^{60}Co близки с таковыми для ^{137}Cs, что выше значений, полученных для чернобыльской зоны (Lux et al., 1995).

По рассчитанным КН выявлено, что содержание ^{137}Cs и ^{60}Co в органах кустарников возрастает в ряду «ветки < листья ~

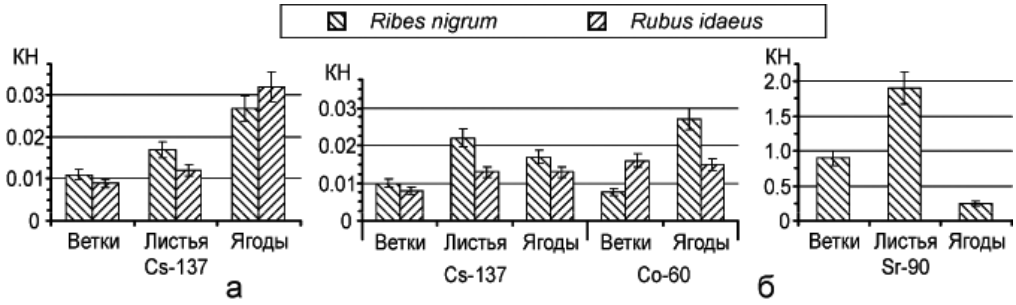

Рис. 3. Коэффициенты накопления техногенных радионуклидов для различных органов кустарников: для участков с аэрозольным (а) и водным (б) поступлением радионуклидов (приведён интервал стандартной ошибки для n=3)

ягода», а для ^{90}Sr – в ряду «ягода < ветки < листья».

Полученные нами данные по накоплению техногенных радионуклидов ягодными кустарниками согласуются с результатами исследований других авторов. Коэффициенты накопления ^{137}Cs в зелёной фитомассе *Rubus idaeus* в 30-км зоне ЧАЭС составляют 0,02–0,4 (Lux et al., 1995). Полевые исследования по накоплению ^{137}Cs ягодами *Rubus idaeus* дали схожие результаты – 0,015–0,028. Для ягод *Ribes nigrum* средний КН ^{137}Cs по данным исследований в районе Селлафилда равен 0,015 (Carini, 2001), что также совпадает с нашими значениями. Некоторые отличия наблюдались только в накоплении ^{60}Co, для которого КН в зелёной фитомассе малины в 30-километровой зоне ЧАЭС составляет 0,006–0,007 (Lux et al., 1995), что ниже полученных нами значений.

Заключение

Проведённые исследования по накоплению радионуклидов в грибах и ягодных кустарниках, собранных в разных районах в зоне влияния радиоактивных сбросов ГХК, показали, что наилучшими биоиндикаторами загрязнения территории техногенным ^{137}Cs являются *S. granulatus* и *S. luteus*, накапливающие максимальные активности ^{137}Cs, независимо от источника его поступления в почву. В связи с проявленными биоиндикативными свойствами по загрязнению почв ^{137}Cs данные виды следует изучить на предмет накопления тяжёлых металлов и, возможно, использовать их как индикаторы радиоактивного и химического загрязнения почв.

Уровни накопления техногенных радионуклидов растениями на 2-3 порядка ниже, чем у грибов. В надземной биомассе ягодных кустарников *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* интенсивность накопления радионуклидов в органах возрастает для ^{60}Co и ^{137}Cs в ряду «ветки<листья~ягода», для ^{90}Sr – «ягода<ветки<листья». В целом характер накопления техногенных радионуклидов грибами и кустарниками согласуется с результатами подобных исследований, проведённых на территориях, пострадавших в результате радиоактивных выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Л.Г. Бондаревой – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. лаборатории радиоэкологии ИБФ СО РАН, за помощь при аналитическом исследовании проб.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ-ККФН №09-04-98002-р_сибирь_а.

Список литературы

Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Бондарева Л.Г. (2006) Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния Красноярского Горно-химического комбината. Радиационная биология // Радиоэкология. 46 (№1): 67-74.

Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.3.2.1078-01). (2002) ЗАО «РИТ-Экспресс», М., 208 с.

Зарубина Н.Е. (2006) Многолетняя динамика накопления радионуклидов грибами-макромицетами после аварии на Чернобыльской АЭС / Под ред. А.И. Таскаева и др. // Радиоэкологические исследования в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС (к 20-летию аварии на Чернобыльской АЭС): Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 180. Сыктывкар, с. 152-167.

Носов А.В., Мартынова А.М. (1996) Анализ радиационной обстановки на р. Енисей после снятия с эксплуатации прямоточных реакторов Красноярского ГХК // Атомная энергия. 81 (№3): 226-232.

Barnett C.L., Beresford N.A., Self P.L., et al. (1999) Radiocaesium activity concentrations in the fruit-bodies of macrofungi in Great Britain and an assessment of dietary intake habits. Sci Total Environ. 231: 67-83.

Barreto S.R.G., Nozaki J., Oliveira E., et al. (2004) Comparison of metal analysis in sediments using EDXRF and ICP-OES with the HCl and Tessie extraction methods. Talanta. 64: 345–354.

Bolsunovsky A., Zotina T., Bondareva L. (2005) Accumulation and release of ^{241}Am by a macrophytes of the Yenisei River (*Elodea canadensis*). J. Environ. Radioactivity. 81: 33-46.

Bolsunovsky A. and Bondareva L. (2007) Actinides and other radionuclides in sediments and submerged plants of the Yenisei River. J. Alloy. Compd. 444-445: 495-499.

Carini F. (2001) Radionuclide transfer from soil to fruit. J. Environ. Radioactivity. 52: 237-279.

Gillett A.G., Crout N.M.J. (2000) A review of ^{137}Cs transfer to fungi and consequences for modelling environmental transfer. J. Environ. Radioactivity. 48: 95-121.

Klemt E., Spasova Y., Zibold G., et al (2002) Deposition of artifical radionuclides in sediments of the river Yenisei. In: P. Strand and S. Ase (eds) Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic. Norway: 67-70.

Lux D., Kammerer L., Ruhm W., Wirth E. (1995) Cycling of Pu, Sr, Cs, and other longliving radionuclides in forest ecosystems of 30-km zone around Chernobyl. Sci. Total Environ. 173/174: 375-384.

Myttenaere C., Schell W.R., Thiry Y., et al. (1993) Modelling of the Cs-137 cycling in forests: recent developments and research needed. Sci. Total Environ. 136: 77-91.

Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I., Sidorov V.P. (1993) Forests and forestry: radiation protection measures with special reference to the Chernobyl accident zone. Sci. Total Environ. 137: 289-305.

Tsukada H., Shibatab H., Sugiyama H. (1998) Transfer of radiocaesium and stable caesium from substrata to mushrooms in a pine forest in Rokkasho-mura, Aomori, Japan. J. Environ. Radioactivity. 39 (№2): 149-160.

Content of Man-Caused Radionuclides in Shrubs and Mushrooms in the Area Affected by the Mining-and-Chemical Combine (the Krasnoyarskii Krai)

Dmitry V. Dementyev and Alexander Ya. Bolsunovsky
Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 660036 Krasnoyarsk Russia

The study addresses accumulation of radionuclides by mushrooms and berry shrubs from the forest soil in the area around the Mining-and-Chemical Combine (the Krasnoyarskii Krai, Russia). The Suillus granulatus and S. luteus mushrooms have been found to be the best bioindicators in this area. The level of ^{137}Cs concentration in these species can reach 10 kBq/kg dry mass. The ^{137}Cs transfer factor (TF) by the mushrooms varies 5-fold among the sites that receive radionuclides from different sources. The level of radionuclide activities accumulated by berry shrubs is 2-3 orders of magnitude lower than the activities accumulated by mushrooms. Based on the calculated TFs, the distribution of ^{137}Cs and ^{60}Co among the parts of these shrubs is as follows: branches<leaves~berries, and the distribution of ^{90}Sr – berries<branches<leaves.

Keywords: radionuclides, transfer factor, mushrooms, shrubs.