

## Особенности формирования радиоактивного загрязнения лесной экосистемы после аварии на ЧАЭС

К.В. Варфоломеева

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

*Авария на Чернобыльской атомной электростанции повлияла и до сих пор продолжает влиять на все сферы жизни пострадавших регионов, изменив сложившийся уклад жизни проживающих там людей. Изучение поведения радионуклидов в природных условиях приобретает все более приоритетное значение в связи с тем, что радионуклиды вовлекаются в круговорот веществ и активно накапливаются растениями и животными, то есть становятся неотъемлемым звеном пищевых цепей и играют огромную роль в функционировании экосистем. Ввиду сильных фильтрующих свойств деревьев осаждение в лесах зачастую выше, чем в сельскохозяйственных районах. При загрязнении специфические экологические свойства лесов часто приводят к высокой степени удержания загрязняющих радионуклидов. Высокое содержание органических веществ в лесной почве и ее стабильность увеличивают передачу радионуклидов из почвы растениям, в результате чего в лишайниках, мхах, грибах и ягодах часто обнаруживаются высокие концентрации радионуклидов. Передача радионуклидов диким животным в таких условиях может привести к тому, что некоторые люди, в значительной степени зависящие от дичи как от источника питания, могут подвергнуться неприемлемому облучению.*

Ключевые слова: лесная экосистема, трофические цепи, почвенно-климатические характеристики, коэффициент перехода, миграция радионуклидов, дозовые нагрузки.

После Чернобыльских выпадений, распространившихся на большие территории, резко возросла потребность в информации о миграции радионуклидов в разных физико-географических условиях и природных средах. Этот факт, в свою очередь, стимулировал расширение исследовательских работ и издание научных обобщающих трудов по радиэкологии и географии радиоактивности [1–3].

С 1988 года под руководством МАГАТЭ проводилась программа «Верификация моделей поведения радионуклидов во внешней среде» (VAMP), посвященная, в том числе, и изучению закономерностей миграции радионуклидов, в особенности радионуклидов цезия, по природным пищевым цепочкам. Были обследованы природные экосистемы – леса, степи, нагорные участки, горные пастбища, зоны, удаленные от берегов моря, покрытые кустарничковой растительностью, болота, тундра. В вышеуказанных экосистемах обнаружена высокая и в некоторых случаях пролонгированная биодоступность важных, с точки зрения дозообразования, радионуклидов [4]. Были обнаружены высокие уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах грибов некоторых биологических видов. Однако для разных видов грибов эти уровни существенно различаются. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в некоторых грибах (например, лисичка желтая) сравнимо с его содержанием в высших растениях, произрастающих на той же территории [4]. Для других грибов (копак кольчатый, масленок, горькушка) характерны уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах, в 10–100 раз превышающие уровни его содержания в высших растениях [4].

Институтами и научно-исследовательскими центрами России, Беларуси и Украины проводились исследования по изучению закономерностей накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах лесных экосистем.

В результате проведения научных исследований в разных компонентах лесных экосистем стран бывшего СССР

были обнаружены высокие уровни содержания радионуклидов цезия. Этот факт обусловил необходимость выявления закономерностей миграции  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по природным пищевым цепочкам и оценки возможного вклада пищевых продуктов лесного происхождения (в первую очередь, грибов, ягод, дичи и рыбы) в дозу внутреннего облучения населения [5].

Для того, чтобы понять механизмы накопления и закономерности миграции  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по компонентам биогеоценоза (БГЦ) и дать оценку их вклада в дозу внутреннего облучения человека, необходимо проведение комплексных исследований с учётом всех компонентов природных экосистем: древесного и травяно-кустарничкового ярусов, мохово-лишайникового покрова, грибного комплекса, органогенной (дернина, подстилка) и минеральной частей почвенного профиля.

В рамках изучения роли лесных экосистем в первичном распределении радионуклидов лабораторией радиэкологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова было показано, что леса являются выравненными аккумуляторами техногенных выпадений. Их аккумулярующий эффект зависит от видового состава и от проективного покрытия фитоценозов, от климатических условий года и периода вегетации [6].

При установлении пространственно-временных закономерностей миграции и перераспределения радионуклидов по компонентам экосистем определяется интенсивность миграционных потоков радионуклидов в биогеоценозе (БГЦ) и, в том числе, по трофическим цепям, что в конечном итоге характеризует дозовые нагрузки во всех звеньях исследуемой цепи. Лабораторией радиэкологии МГУ им. М.В. Ломоносова установлены особенности поведения  $^{90}\text{Sr}$  в лесном БГЦ, в частности, его повышенная миграционная способность и коэффициенты перехода (КП, определяемый как отношение удельной актив-

ности пробы к поверхностной активности радионуклидов в почве) практически во все компоненты лесных экосистем, за исключением репродуктивных органов растений и грибов, а также установлены особенности его сезонной и многолетней динамики в сравнении с  $^{137}\text{Cs}$ . Было показано, что динамика различных радионуклидов непредсказуема как в компонентах растительного яруса, так и во временном ряду. В сезонной динамике  $^{137}\text{Cs}$  в ассимилирующих органах древесных пород отмечается одностороннее снижение его концентрации от весны к осени, а  $^{90}\text{Sr}$ , напротив, - рост в течение периода вегетации. В то же время в древесине минимум концентрации  $^{137}\text{Cs}$  приурочен к началу интенсивного весеннего сокодвижения. Ещё более сложна и неоднозначна сезонная динамика содержания радионуклидов в компонентах травяно-кустарничкового яруса, характер которой меняется в зависимости от видовой принадлежности растений и условий их произрастания [6].

Изучение лабораторией радиоэкологии МГУ им. М.В. Ломоносова особенностей содержания радионуклидов в различных компонентах биоты позволило ранжировать их по накопительной способности, выделить виды и структуры концентраторов (биоиндикаторы) и дискриминаторы, а также дать оценку относительного вклада этих компонентов в суммарное загрязнение экосистем. Это имело чрезвычайно важное значение при расчётах дозовых нагрузок при миграции радионуклидов по трофическим цепям. В интегрированном виде по уровням концентрации  $^{137}\text{Cs}$  компоненты напочвенного покрова располагаются в следующий ряд: древесный ярус < травяно-кустарничковый ярус < мохово-лишайниковый покров < грибной комплекс. Проведённые исследования показали, что грибы являются абсолютным аккумулятором  $^{137}\text{Cs}$  в лесном БГЦ. Для  $^{90}\text{Sr}$  рассмотренный выше ряд имеет следующий вид: грибной комплекс < мохово-лишайниковый покров < травяно-кустарничковый ярус < древесный ярус. В соответствии с этим меняется вклад данных компонентов в загрязнение экосистем в целом. Для  $^{137}\text{Cs}$  максимальная аккумуляция (до 47% его суммарных запасов в экосистеме) может накапливаться в грибах: для  $^{90}\text{Sr}$  – в древесном ярусе (до 20%), значительно меньше – в травяно-кустарничковом ярусе и моховом покрове, практически незначимо (0,2-0,1% и менее) – в грибном комплексе. По итогам исследований после аварии на ЧАЭС было показано, что внутривидовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше, чем вариации этого показателя между различными компонентами БГЦ. Минимальное внутривидовое варьирование (в частности, по  $^{137}\text{Cs}$ ) отмечается у древесных пород, максимальное – у грибов. Накопление радионуклидов в различных видах растений и грибов определяется не только их физиологическими особенностями, но и условиями произрастания, характером распределения радионуклидов в почвенном профиле [6].

Распределение радионуклидов в лесных экосистемах, загрязнённых в результате аварии на ЧАЭС, убедительно показывает, что почвенный комплекс является основной зоной накопления  $^{137}\text{Cs}$  в лесу. В этой связи особый интерес представляет изучение особенностей поведения  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных системах. Степень устойчивости, с которой цезий фиксируется почвенной матрицей, будет, в свою очередь, влиять на поглощение элемента растительно-

тью (в частности, грибами) и на динамику его биологического цикла в целом [7-11].

Экспериментальные работы показали, что  $^{137}\text{Cs}$  довольно прочно сорбируется многими почвами, причем полностью не может быть вытеснен никакими способами без разрушения почвенных минералов. Такая необменная сорбция обусловлена вхождением иона цезия внутрь кристаллической решетки некоторых почвенных минералов [10].

Если отсутствуют другие движущие силы, то единственным механизмом миграции вещества, попавшего в почву, является диффузия. Однако и она может сопровождаться множеством процессов: растворение-осаждение вещества, сорбция-десорбция его на почвенных частицах, диффузия в газообразной и жидкой фазах почвы, диффузия по поверхности почвенных частиц в сорбированном состоянии. К другим механизмам вертикальной миграции вещества в почве можно отнести следующие: поглощение вещества корневыми системами растений и перенос его по корневым системам как вверх, так и в более глубокие слои почвы; перенос роющими животными; перенос в виде частиц или вместе с другими почвенными частицами в более глубокие слои в результате просыпания по крупным порам или с потоком фильтрующей влаги; перенос с потоком влаги в растворенной форме [10].

В природных экосистемах (особенно в лесных) органическое вещество имеет наибольшее влияние на емкость катионного обмена почвы (ЕКО), и, чаще всего, высокая ЕКО приводит к высокой степени фиксации радионуклида почвой [9].

Было обнаружено, что толщина и природа органического слоя, расположенного на поверхности лесных почв, являются ведущими факторами, сильно влияющими на миграцию цезия в лесном почвенном профиле. Однако, несмотря на очень высокую ЕКО, органическое вещество само по себе не является непосредственной причиной устойчивой фиксации цезия почвенным комплексом. Высокий процент содержания в почве органического вещества не приводит к более сильному удержанию цезия различными горизонтами почвы. Более важным является низкое содержание в почве слюдяных минералов, имеющих специфические участки для фиксации цезия. Гумусовые соединения и калий, которыми изобилует насыщенный органикой горизонт, будут иметь опосредованное, но важное влияние на фиксацию цезия почвой. Более эффективное удержание цезия было обнаружено в поверхностном слое почвы, где содержание калия и гумусовых соединений выше, чем в более глубоком минеральном слое [9].

Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в плодовые тела грибов зависит от двух факторов – свойств верхнего, наиболее загрязнённого, слоя почвы и распределения мицелия относительно этого слоя. Последнее является видовой характеристикой. В зависимости от типа почвы КП  $^{137}\text{Cs}$  в грибы одного и того же вида могут различаться до 200 раз [7]. КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в грибы возрастают с увеличением толщины гумусового слоя почвы, увеличением содержания в почве органического вещества, уменьшением величины рН, содержания обменных оснований, содержания обменного калия в почве [12]. Возрастание значений КП при уменьшении величины рН почвы происходит из-за того, что при этом становится возможным обмен части ионов  $^{137}\text{Cs}$ , прочно связанных с минералами, входящими в состав почвенной

глины на ионы водорода [12]. Выявлены широкие вариации КП  $^{137}\text{Cs}$  в грибы в зависимости от погодных условий года. Его величина положительно коррелирует с количеством атмосферных осадков в период вегетации [7].

Было обнаружено, что при одной и той же плотности поверхностного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  (180 кБк/м<sup>2</sup>), в районе одного и того же населенного пункта Дитятки, Киевской области, но в разных лесах, КП  $^{137}\text{Cs}$  в грибы одного и того же вида могут различаться в 140 раз [13]. Средний за два года (1992-1993) КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в *Paxillus involutus* (свинушка тонкая) в лесу с элювиальным автоморфным ландшафтом и подзолистым типом почвы составил  $14 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/кг (сухого веса), а в лесу с аккумулятивным гидроморфным ландшафтом и торфяно-гумусированным подзолистым оглеенным типом почвы –  $0,9 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/кг (сухого веса). Существенно более низкие (до двух порядков) КП  $^{137}\text{Cs}$  были обнаружены и для других микоризообразующих и паразитирующих видов грибов, отобранных на территории леса с аккумулятивным гидроморфным ландшафтом. КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в различные виды напочвенных сапротрофов, растущие в лесах с автоморфным и гидроморфным ландшафтами, практически не различаются [14]. При прочих равных условиях содержание  $^{137}\text{Cs}$  изменяется на порядок в грибах одних и тех же биологических видов, произрастающих в следующих экосистемах: хвойный лес > смешанный лес > лиственный лес > луг [12, 15].

Одним из наиболее важных факторов, определяющих высокие уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах лесных экосистем, является корневое (гифовое) поступление радионуклида из почвы в растение. Низкая способность лесной экосистемы к иммобилизации  $^{137}\text{Cs}$  приводит к тому, что уровни его содержания в растительных и животных продуктах леса практически не снижаются. Почвы, на которых корневое поступление  $^{137}\text{Cs}$  происходит с высокой скоростью, чаще всего характеризуются низким содержанием физической глины и калия, низким значением pH и высоким содержанием органического вещества [16].

В целом, в отдаленный период после аварии на ЧАЭС величина дозы внутреннего облучения населения зависит от трех основных факторов: характеристик почвы сельскохозяйственных угодий, прилегающих к населенному пункту; отношения уровней загрязнения населенного пункта и сельскохозяйственных угодий (в частности, сенокосов и пастбищ); особенностей и объемов проведенных защитных мероприятий [17]. Наличие лесных массивов, прилегающих к населенным пунктам, определяет существенный вклад в рацион питания населения продуктов леса, что приводит к формированию дополнительного облучения населения и ограничивает эффективность сельскохозяйственных защитных мероприятий по критерию снижения доз облучения населения [17].

Исследования подтверждают, что для целого ряда государств поступление цезия в организм человека в результате потребления грибов может вносить существенный вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения [18]. Грибы могут вносить до 70% вклада в дозу внутреннего облучения за счет потребления пищевых продуктов для взрослого населения России, потребляющего лесные грибы и ягоды. Кроме того, в России наблюдается увеличение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме жителей загрязненных территорий, потребляющих лесные грибы [5].

Установлено, что грибы поглощают изотопы цезия ( $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) гораздо сильнее, чем такой макроэлемент, как калий [6]. Вместе с тем грибы не отличаются такой выраженной аккумулятивной способностью по отношению к  $^{90}\text{Sr}$  и изотопам Pu ( $^{238-240}\text{Pu}$ ). Коэффициенты перехода изотопов Pu в плодовые тела грибов примерно в 100 раз, а  $^{90}\text{Sr}$  – в 1000 раз меньше, чем для  $^{137}\text{Cs}$ . Интенсивность поглощения  $^{137}\text{Cs}$  сильно зависит от степени и распределения загрязнения по почвенному профилю, от видовых особенностей, в первую очередь – от глубины залегания мицелия и условий произрастания, от трофических особенностей. Как показали исследования, меньше всего  $^{137}\text{Cs}$  в дроворазрушающих грибах, а больше – в симбиотрофах, причем накопительная способность у видов этой группы различается в 10 и более раз [18, 19].

Высокая селективность в поглощении  $^{137}\text{Cs}$  и небольшой срок жизни плодовых тел (всего около 10 дней) позволили рекомендовать грибы как биоиндикаторы радиоактивного загрязнения. В первые годы после Чернобыльской аварии к биоиндикаторам относили гриб польский (*Xerocomus badius*), свинушку тонкую (*Paxillus involutus*), горькушку (*Lactarius rufus*) и масленок обыкновенный (*Suillus luteus*). Однако уже тогда полагали, что по мере загрязнения более глубоких слоев почвы среди видов-биоиндикаторов возможны перестановки [20].

Накопительные свойства грибов определяются также условиями их произрастания, и, в первую очередь, степенью увлажнения почв. Так, на увлажненных и переувлажненных лесных почвах (аккумулятивные ландшафты) грибы накапливают радиоактивный цезий на порядок больше, чем те же виды, растущие на автоморфных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод (элювиальные ландшафты) (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние увлажнения на накопление  $^{137}\text{Cs}$  различными видами грибов (поверхностная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве 185 кБк/м<sup>2</sup>) [20]**

№	Вид	Элювиальный ландшафт	Аккумулятивный ландшафт
1	Опёнок осенний ( <i>Armillariella mellea</i> )	1,52	37,0
2	Сыроежки ( <i>Russula spp.</i> )	2,29	170,2
3	Груздь чёрный ( <i>Lactarius necator</i> )	8,88	70,3

В плодовых телах грибов радионуклиды накапливаются неодинаково. Одни исследователи отмечают, что сильных отличий в концентрации  $^{137}\text{Cs}$  между отдельными частями плодовых тел нет, другие считают, что цезий, как и другие микроэлементы, в большей степени скапливается в шляпках [21, 22]. По мнению некоторых авторов [23-25], оба эти положения имеют право на существование. У молодых особей различия в удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в шляпках и ножках минимальны, они появляются лишь по мере созревания плодовых тел за счет концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в гименофорах (поверхностях, несущих спороносный слой) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в разных частях плодовых тел грибов (кБк/кг, сырой вес), [20]

№	Вид	Гименофор	Шляпки	Ножки	Целиком
1	Горькушка ( <i>Lactarius rufus</i> )	44,5	15,3	19,8	21,6
2	Зеленушка ( <i>Tricholoma flavoriens</i> )	45,6	11,7	11,8	16,0
3	Свинушка тонкая ( <i>Paxillus involutus</i> )	56,0	25,8	21,0	29,0
4	Волнушка розовая ( <i>Lactarius torminosus</i> )	31,4	21,6	17,0	18,0
5	Подберёзовик ( <i>Leccinum scabrum</i> )	45,0	26,5	21,1	32,0

В результате длительных наблюдений установлено, что многолетняя динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  грибами меняется в зависимости от физико-химической природы радиоактивных выпадений; климатических и экологических условий (типа почвы и особенностей строения подстилки), а также видовых различий грибов, в частности глубины распространения мицелия. Для видов с поверхностным расположением мицелия (например, свинушки тонкой, рис. 1) она снижается в 1,5 – 6 раз (в зависимости от видовой принадлежности и типа биогеоценоза). Для видов с более глубоким расположением мицелия (желчного и белого грибов) в настоящее время концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах увеличивается [20, 25]. По прогнозам шведских специалистов, к 2011 г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, мицелий которых в основном расположен в минеральных горизонтах почвы, вырастет на 140%, а в видах с мицелием, находящимся в верхних слоях лесной подстилки, уменьшится до 1% от первоначального уровня [19].

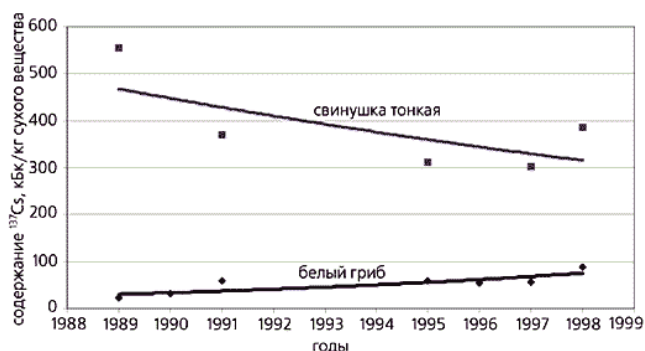


Рис. 1. Многолетняя динамика  $^{137}\text{Cs}$  в грибах с различной глубиной залегания мицелия [23]

Анализ данных по коэффициентам накопления радионуклидов (отношение концентрации элемента в компоненте к концентрации в почве) показал, что в биоте лесного биогеоценоза грибы – самые сильные накопители всех элементов (в особенности  $^{137}\text{Cs}$ ). В травяно-кустарничковой растительности и структурных частях древесного яруса этих элементов гораздо меньше. Значит, при употреблении грибов, собранных в загрязненных радионуклидами лесах,

высока вероятность не только внутреннего облучения, но и усиленного воздействия этих элементов на организм человека. Отсюда очевидно, что в условиях техногенного загрязнения наиболее действенная мера – просто не есть собранные в лесу грибы и выращивать их в искусственных условиях. Сегодня современные технологии вполне могут обеспечить всех любителей грибов этим продуктом. [24].

С 1986–2007 г. сотрудниками ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева Роспотребнадзора проводился мониторинг загрязненных регионов России, существенно различающихся по почвенно-климатическим условиям и уровням их радиоактивного загрязнения [25-27]. Исследования проводились в Брянской, Орловской и Тульской областях, наиболее загрязненных чернобыльскими выпадениями, а также в Мурманской и Архангельской областях, где загрязнение территории цезием-137 в настоящее время обусловлено как глобальными, так и чернобыльскими выпадениями. В Брянской области поверхностная активность  $^{137}\text{Cs}$  на почве достигает 3700 кБк/м<sup>2</sup>, основной фонд почвенного покрова области составляют дерново-подзолистые почвы. В Орловской и Тульской областях поверхностная активность  $^{137}\text{Cs}$  на почве достигает 750 кБк/м<sup>2</sup>, почвенный покров областей представлен, в основном, светло-серыми, серыми лесными, и черноземными почвами. В Мурманской и Архангельской областях поверхностная активность  $^{137}\text{Cs}$  на почве достигает 7 кБк/м<sup>2</sup>, почвы относятся к группе полярно-бореального почвообразования, в основном развиты болотный и подзолистый типы почв [27]. Анализ динамики радиоактивного загрязнения звеньев пищевой цепочки, традиционно дающих основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения (естественные травы, молоко и мясо крупного рогатого скота и сельскохозяйственная растительность) показал, что в первые 5–6 лет после аварии на ЧАЭС естественное снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пищевых продуктах сельскохозяйственного производства происходило с относительно высокой скоростью с периодом полуочистки около 1-2 лет (в зонах радиоактивного загрязнения, где не применялись концентраты в сфере сельскохозяйственного производства) [26].

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме жителей Брянской области – наиболее загрязненного после аварии на ЧАЭС региона России – уменьшалось в 1986-1991 г. с периодом полуочистки около 15 мес., близким по величине к периоду полуочистки от этого радионуклида продуктов питания сельскохозяйственного производства. Однако в 1992-1993 г. был обнаружен факт некоторого роста содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме жителей. Анализ ситуации, наблюдение за поведением местного населения и опросы жителей показали, что этот рост связан с ростом потребления ими грибов и ягод в указанный период. Этот факт связан с экономическими трудностями, обострившимися в эти годы, что вынудило население увеличить потребление бесплатных пищевых продуктов природного происхождения, несмотря на информированность о почти повсеместном превышении допустимых нормативов по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, а зачастую и в ягодах. При этом статистически достоверного уменьшения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах и ягодах за период, прошедший после аварии на ЧАЭС, не происходит либо этот процесс проходит очень медленно в соответствии с величиной физического распада радионуклидов цезия [26].

Таким образом, наблюдается перераспределение вкладов в дозу внутреннего облучения населения цезием-137 продуктов сельскохозяйственного производства и продуктов природного происхождения (в частности, грибов, ягод, дичи и рыбы) в пользу последних.

Лекарственные растения не относятся к основным источникам поступления радионуклидов в организм человека. Однако необходимо учитывать специфику накопления радионуклидов в лекарственном растительном сырье. Некоторые лекарственные растения способны накапливать значительные количества радионуклидов, которые в последующем переходят в человеческий организм по экологической цепочке «почва – лекарственное растительное сырьё – лекарственная форма – человек» [28].

Вклад лекарственного растительного сырья (ЛРС), потребляемого населением для лечения и профилактики различных заболеваний, в дозу внутреннего облучения человека изучался сотрудниками кафедры радиохимии МГУ и кафедры общей химии ММА им. И.М. Сеченова. Разработанная ими унифицированная методика проведения радиационного анализа в контроле качества ЛРС дала возможность распределить фармакологические группы по степени их загрязнённости  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (выделить критические группы). В репрезентативной выборке содержится 275 результатов анализа.

Исследования показали, что основная часть загрязнённого  $^{137}\text{Cs}$  ЛРС происходит на побеги багульника (5 образцов), по одному загрязнённому образцу приходится на почки берёзы, траву череды, кору крушины и чагу. Большинство растений  $^{137}\text{Cs}$  практически не концентрируется или концентрируется очень мало. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  отмечено лишь для лишайника после выпадения из атмосферы радионуклидных осадков [28].

Полученные результаты наглядно свидетельствуют о том, что происходит постепенное перераспределение вкладов в дозу внутреннего облучения населения продуктов питания сельскохозяйственного производства и природного происхождения, обусловленное практически постоянными уровнями содержания цезия в грибах, составляющих основную часть природной компоненты пищевого рациона местного населения. В настоящее время вклад грибов в формирование дозы внутреннего облучения населения, активно потребляющего пищевые продукты природного происхождения (грибы, ягоды, дичь, рыбу, в первую очередь озерную) может составлять до 80% [29].

### Список использованной литературы

- Алексахин, Р.М. Сельскохозяйственная радиоэкология: результаты, актуальные задачи, перспективы (к итогам 10-летних исследований в регионе аварии на Чернобыльской АЭС [Текст] / Р.М. Алексахин // Радиация и риск. – Вып. 9. – 1997. – С. 44-47.
- Уорнер, Ф. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде [Текст] / под ред. Ф. Уорнера, Р. Харрисона. – М., 1999.
- «Чернобыль. Десять лет спустя. Радиоактивное воздействие и последствия для здоровья населения» [Текст]: Оценочный доклад Комитета по радиационной защите и здравоохранению Агентства по ядерной энергии. – Ноябрь, 1995.
- Modeling of radionuclide interception and loss processes in vegetation and of transfer in seminatural ecosystems [Текст] // Second Report of the VAMP Terrestrial Working Group: IAEA-TECDOC-857. – 1996. – P. 53-57.
- Шутов, В.Н. Роль грибов и ягод в формировании дозы внутреннего облучения населения России после Чернобыльской аварии [Текст] / В.Н. Шутов, Г.Я. Брук, М.В. Кадука [и др.] // Проблемы обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации. – М.: ФЦГСЭН, 1998. – № 2. – С. 19-23.
- Щеглов, А. И. Лесная радиоэкология на пороге XXI века [Текст] / А. И. Щеглов, О.Б. Цветнова // Чернобыль: долг и мужество: научно-публицистическая монография к 15-летию катастрофы: в 2-х томах. Т.1. – М., 2001.
- Тихомиров, Ф.А. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне влияния аварии на ЧАЭС [Текст] / Ф.А. Тихомиров, А.И. Щеглов // Радиационная биология: Радиоэкология. – 1997. – Т. 37, вып. 4. – С. 669-670.
- Andolina, J. Radiocesium availability and retention sites in forest humus [Текст] / J. Andolina, O. Guillitte; In G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli editors // Proc. CEC workshop: Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. Elsevier Applied Science. – London (UK). – 1990. – P. 135-142.
- Thiry, Y. Determination of the physico-chemical parameters which influence the Cs availability in forest soils [Текст] / Y. Thiry, M. Vanhouche [et al.] // The science of the total environment. – ISSN 0048-9697. – V. 157. – 1994. – P. 261-262.
- Фрид, А.С. Механизмы и модели миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах [Текст] / А.С. Фрид // Радиационная биология: Радиоэкология. – М.: Наука. – 1999. – Т. 39, № 6. – С. 667.
- Konoplev, A.V. Modelling radiocaesium bioavailability in forest soils [Текст] / A.V. Konoplev, A.A. Bulgakov [et al.]: I. Linkov and W.R. Shell (eds.), // Contaminated Forests. – 1999. – P. 217-229.
- Heinrich, G. Uptake and transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  by mushrooms [Текст] / G. Heinrich // Radiation environments biophysics. – № 31. – Springer-Verlag. – 1992. – P. 39-49.
- Belli, M. Behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident. 1996 [Текст] / M. Belli, F. Tikhomirov // Experimental Collaboration Project № 5. – EUR 16531 E.
- Zhuchenko, T. Model Forestdose and evaluation of exposure doses of population from forest food products [Текст] / T. Zhuchenko, A. Dvornik; I. Linkov and W.R. Shell (eds.) // Contaminated Forests. – 1999. – P. 353-358.
- Kaduka, M.V. Assessment of the contribution of fungi in the internal dose of populations in the areas with different soil types subjected to radioactive contamination after the Chernobyl accident. Interim report from the field work performed in 1996-1999 [Текст] // M.V. Kaduka, V.N. Shutov, G.J. Bruk [et al.]. – St. Petersburg-Oslo, NRPA: Osteras, Norway. – 2000. – 61 p.
- Modeling of radionuclide interception and loss processes in vegetation and of transfer in seminatural ecosystems [Текст] // Second Report of the VAMP Terrestrial Working Group. IAEA-TECDOC-857. – 1996. – P. 52.
- Фесенко, С. В. [Текст] / С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, №5. – С. 487 – 499.
- Barnett, C.L. Radio cesium activity concentration in the fruit bodies of macro fungi in Great Britain and an assessment of dietary intake habits [Текст] / C.L. Barnett, N.A. Beresford, P.L. Self [et al.] // Science of the Total Environment. – 1999 – UK, 21. – P. 265- 290.
- Johanson, K.J., / K.J. Johanson, I. Nicolova // Proc. of the Intern. Symp. on Radioecology. – Vienna, 1996. – P. 259-265.
- Цветнова, О.Б. Накопление радионуклидов и тяжелых металлов грибным комплексом лесных экосистем [Текст] / О.Б. Цветнова, Н.Е. Шатрова, А.И. Щеглов // Научные труды института ядерных исследований. – Киев, 2001. – №3 (5). – С. 171-176.
- Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х.М. Пендиас. – 1989; W.

- Ruhm, M. Steiner, L. Kammerer [et al.] // J. Environmental Radioactivity. – 1998. – V.39, №2. – P.129-147.
22. Ruhm, W. [Текст] / W. Ruhm, M. Steiner, L. Kammerer [и др.] // J. Environmental Radioactivity. -1998. V.39, №2. – P. 129-147.
23. Щеглов, А. И. Российская наука: дорога жизни [Текст] / А. И. Щеглов, О. Б. Цветнова // Сборник научно-популярных статей. – М., 2002. – № 4. -С. 57-594.
24. Щеглов, А.И. Грибы – Биоиндикаторы техногенного загрязнения [Текст] / А.И. Щеглов, О.Б. Цветнова // Природа. – 2002. – №11.
25. Balonov, M.I. Importance of diet and protective actions on internal dose from Cs radionuclides in inhabitants of the Chernobyl region [Текст].// M.I. Balonov, I.G. Travnikova // In The Chernobyl Papers: Washington: Research Enterprises, ed. by S. Merwin and M.I. Balonov. – 1993. – V. 1. – P. 167-218.
26. Шутов, В.Н. Динамика параметров миграции цезия-137 в сельскохозяйственной и природной экосистемах [Текст] / В.Н. Шутов, Г.Я. Брук, М.В. Кадука [и др.]: Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях : Третья Международная конференция . – СПб: Гидрометеиздат, 2000. – С. 134-139.
27. Kaduka, M.V. Soil-dependant uptake of Cs by mushrooms: experimental study in the Chernobyl accident areas [Текст] / M.V. Kaduka, V. N. Shutov, G. Ya. Bruk [et al.] / Journal of Environmental Radioactivity. 2006. -V. 9, issue 3. – P. 199–211.
28. Абрамов, А.А. Алгоритмизация радиационного анализа в контроле качества лекарственного растительного сырья [Текст] / А.А. Абрамов, Ю.П. Борисов, Н.В.Петров [и др.]// Вестник Московского Университета: Сер.2; Химия, 2002 г. – Т.43. № 3. – С 194 – 199.
29. Кадука, М.В., Шутов В.Н., Брук Г.Я., Травникова И.Г., Кравцова О.С. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на ЧАЭС. Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий [Текст] / М.В. Кадука, В.Н. Шутов, Г.Я. Брук [и др.]: Труды Международной конференции (Москва, 5-6 декабря 2005 года).- СПб: Гидрометеиздат, 2006, Т.3, С. 230-239.

### K.V. Varfolomeeva

#### Peculiarities of radioactive contamination of the forest ecosystem after the Chernobyl Accident

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

*Abstract. Chernobyl accident has influenced greatly all spheres of life of the affected territories, changing the life-style of the local population. Investigation of the radionuclides behavior in natural conditions becomes more and more important which is connected with the fact that radionuclides are drawn into substances rotation and are actively accumulated by the plants and animals, that means that they become integral link of the food chains and are of a great importance in the functioning of the ecosystems. Deposition of radionuclides in the forest system is often higher than in agricultural arrears. Specific ecological features of the forests often lead to the high degree of accumulation of contaminating radionuclides. Organic matter high content in the forest soil and its stability increase the transfer of radionuclides from soil into plants which lead to high content of radionuclides in lichens, mosses, mushrooms and berries. Radionuclides transfer to game in such conditions could bring to the situation when some people actively consuming game meet will be highly exposed.*

*Key words: forest ecosystem, trophic chains, soil and climate characteristics, transfer factor, radionuclides migration, exposure doses.*

Поступила 01.08.08.