

О роли грибов в формировании доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях

А.В. Панов, Е.В. Марочкина, В.В. Пономаренко

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН, Обнинск

В обзоре литературы дан анализ результатов 25-летних исследований, посвященных оценке вклада грибов, содержащих радионуклиды, в формирование доз внутреннего облучения населения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Показан достоверный рост во времени после аварии на ЧАЭС вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения. Выделены факторы, влияющие на вариабельность оценок вклада радионуклидов от грибной компоненты в дозу внутреннего облучения населения.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радиоактивное загрязнение, внутреннее облучение, ^{137}Cs , продукты питания, грибы, рационы.

Введение

После аварии на ЧАЭС потребление населением, проживающим на радиоактивно загрязненных территориях, пищевых продуктов местного производства с повышенным содержанием радионуклидов (прежде всего ^{137}Cs) стало важным источником формирования дополнительной дозовой нагрузки у жителей пострадавших регионов [1]. При этом вклад внутреннего облучения населения от потребления пищевых продуктов местного производства в суммарную дозу облучения в первые годы после аварии на ЧАЭС мог достигать 50% и более [2]. Учитывая, что внедрение защитных мероприятий, направленных на снижение доз именно внутреннего облучения населения, является оптимальным путем реабилитации радиоактивно загрязненных территорий [1, 2], изучение проблем формирования таких доз от потребления человеком пищевых продуктов, содержащих радионуклиды, стало важным направлением исследований в таких научных направлениях, как: радиационная гигиена, радиоэкология, радиационная безопасность.

Доза внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, определяется потреблением как сельскохозяйственных (молоко, мясо, картофель и др.), так и природных (грибы, ягоды, рыба, дичь) пищевых продуктов, содержащих радионуклиды [3]. При этом из сельскохозяйственных продуктов наиболее значимым является молоко, а из природных – грибы. Изучению вопроса о роли сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов в формировании дозы внутреннего облучения человека после аварии на ЧАЭС посвящены многочисленные исследования. Однако результаты этих работ не позволяли сформировать полное представление о том, какие из видов пищевой продукции, сельскохозяйственные или природные, и на каком этапе после аварии вносят доминирующий вклад в формирование дозы внутреннего облучения человека. Так, в ряде исследований [4–6] показан преобладающий вклад в дозу внутреннего облучения сельскохозяйственных продуктов питания, в частности, прямая зависимость дозы внутреннего облучения человека от содержания ^{137}Cs в молоке [7]. В других работах [8–10] отмечена доминирующая роль в формировании доз внутреннего

облучения природных пищевых продуктов, в особенности грибов. При этом необходимо учитывать, что ограничить поступление радионуклидов в организм человека с грибами достаточно сложно, поскольку данный вид природной продукции является традиционным источником питания населения, проживающего в регионе, подверженного воздействию аварии на ЧАЭС [11]. В то же время решение проблемы определения доминирующих дозообразующих продуктов питания важно как с фундаментальной точки зрения, т.е. понимания процессов формирования дозы внутреннего облучения человека, так и с практической – для оптимального планирования и внедрения защитных мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий.

Целью настоящей работы является обобщение накопленных знаний о вкладе грибной компоненты в дозу внутреннего облучения населения, а также выделение факторов, определяющих точность оценок данного вклада.

Результаты исследований роли грибов в формировании доз внутреннего облучения

Проблема накопления радионуклидов в грибах и вклада этого вида пищевой продукции в дозу внутреннего облучения человека привлекала внимание как отечественных, так и зарубежных ученых в течение всего периода ликвидации последствий аварии на ЧАЭС [12], благодаря чему был накоплен богатейший научный материал. Нами был проведен анализ и обобщение результатов этих исследований. Сбор данных проводился с учетом следующих аспектов:

- охват результатов исследований, полученных для всего 25-летнего периода после аварии;
- рассмотрение работ, выполненных в разных странах (Россия, Беларусь, Украина, ЕС и др.);
- обзор исследований, проведенных различными научными школами и направлениями, включая лесную и сельскохозяйственную радиоэкологию, а также радиационную гигиену.

Полученные сводные результаты о вкладе содержащих ^{137}Cs грибов в дозу внутреннего облучения человека и распределенные по годам исследования представлены в таблице.

Литературные данные о вкладе грибов в дозу внутреннего облучения населения

Год исследования*	Вклад в дозу внутреннего облучения, %			Библиография	Литературный источник
	мин.	макс.	среднее		
1986	1,5	7	–	Травникова, 2012	[13]
1987	1	4	–	Балонов и др., 1999**	[14]
1987	7,5	33	–	Травникова, 2012	[13]
1987	–	–	4	Травникова, 2013	[15]
1987	–	–	19	Шутов и др., 2008	[3]
1987	–	–	20	Bruk et al., 1999	[8]
1988	13	55	–	Травникова, 2012	[13]
1989	5	15	–	Priester, 1990	[4]
1990	–	–	22	Травникова, 2013	[15]
1990	10	63	–	Olsen et al., 1990	[16]
1993	–	–	17	Травникова, 2013	[15]
1993	8	31	–	Фесенко и др., 1999	[17]
1994	–	–	37	Ипатьев, 1994	[18]
1995	10	20	–	Skryabin et al., 1995	[19]
1996	33	56	–	Балонов и др., 1999**	[14]
1996	–	–	22	Травникова, 2013	[15]
1996	–	–	80	Bruk et al., 1999	[8]
1996	–	–	46	Hubert et al., 1996	[20]
1996	–	–	60	Johanson et al., 1996	[21]
1996	–	–	11	Kenigsberg et al., 1996	[22]
1996	31	56	–	Strand et al., 1996	[23]
1996	35	50	–	Strand et al., 1996**	[24]
1997	30	60	–	Дворник и др., 1997	[25]
1997	30	60	–	Ипатьев и др., 1997	[26]
1997	2	13	–	Михайлов и др., 1998	[27]
1997	3	24	–	Тихомиров и др., 1997	[6]
1998	–	–	70	Шутов, 1998	[9]
1999	13	70	–	Gyriy et al., 1999	[28]
2000	30	60	–	Дворник и др., 2000	[29]
2001	–	–	28	Жученко и др., 2001	[30]
2001	37	79	–	Кадука, 2001	[31]
2001	–	–	62	Соколик, 2008	[32]
2001	–	–	47	Щеглов, 2001	[33]
2002	–	–	35	Панов и др., 2007	[34]
2002	12	27	–	Спиридонов, 2003	[35]
2003	–	–	19	Анненков и др., 2003	[36]
2003	–	–	70	Нестеренко, 2003	[37]
2006	–	–	80	Кадука и др., 2006	[10]
2006	25	55	–	Научное решение, 2006	[38]
2007	–	–	42	Иванова и др., 2009	[39]
2007	–	–	20	Пристер и др., 2007	[40]
2007	70	80	–	Шутов и др., 2008	[3]
2011	30	80	–	25 лет..., 2011**	[41]

* – в отсутствии данных о периоде исследования указан год опубликования работы;

** – приведены данные о вкладе в дозу внутреннего облучения от всей природной продукции.

В таблице представлены далеко не все работы, посвященные данной тематике, однако здесь показан достаточно широкий спектр исследований, на основе которых можно провести анализ и определить закономерности изменения со временем, прошедшим после аварии, роли грибов в формировании дозы внутреннего облучения человека. Результаты оценок вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения за весь рассматриваемый период варьируют у разных авторов в очень широких пределах – от 1,5 до 80% (см. табл.). В одних работах даются средние величины, в других указывается разброс данных, но и он может быть достаточно велик (до 8,7 раза), что говорит о влиянии множества факторов на дозоформирование от грибной компоненты. В то же время можно отметить, что если для первых пяти лет после аварии на ЧАЭС вклад грибов в дозу внутреннего облучения населения оценивался у большинства авторов на уровне 5–20% [3, 4, 8, 13–15], то в настоящее время он может достигать 50% и более [3, 10, 32, 33, 37, 41]. Такая закономерность обусловлена различной многолетней динамикой параметров миграции радионуклидов в сельскохозяйственные продукты питания и грибы [3, 31, 42]. Основываясь на анализе всего массива собранных литературных данных (минимальных, максимальных и средних значениях), мы построили зависимости изменения во времени после аварии на ЧАЭС вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения. На рисунке представлены полученные закономерности для отдельных лет.

Так, в 1990 г. вклад грибов в дозу внутреннего облучения составлял порядка 20–25% и варьировал в пределах 10–30%. В 2000 г. этот вклад возрос до 40% и мог колебаться в диапазоне 25–55%. К 2010 г. вклад грибов в дозу внутреннего облучения стал около 60%, при этом данный показатель мог изменяться в пределах 40–75%. Поскольку параметры миграции ^{137}Cs из почвы в грибы в течение длительного времени после аварии изменялись незначительно [31], то рост вклада грибов в дозу внутреннего облучения обусловлен снижением коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию [42]. В связи с тем, что в последние годы КП ^{137}Cs в продукцию сельского хозяйства вышли практически на плато [42], можно ожидать, что дальнейшего заметного роста вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения наблюдаться не будет.

Обзор литературных данных также позволяет отметить, что, помимо грибов, в дозу внутреннего облучения населения вносят определенный вклад и другие природные пищевые продукты – ягоды, рыба, дичь. Однако количественные оценки вклада в дозу внутреннего облучения от этих продуктов в литературе встречаются крайне редко, поскольку данные виды природной продукции потребляются не всеми категориями населения и в методиках расчета доз внутреннего облучения населения по загрязнению радионуклидами продуктов питания учитывается только грибная компонента рациона. В то же время в ряде работ отмечается, что вклад от грибов в дозу внутреннего облучения следует рассматривать как эквивалент от всей природной продукции [14, 24, 41].

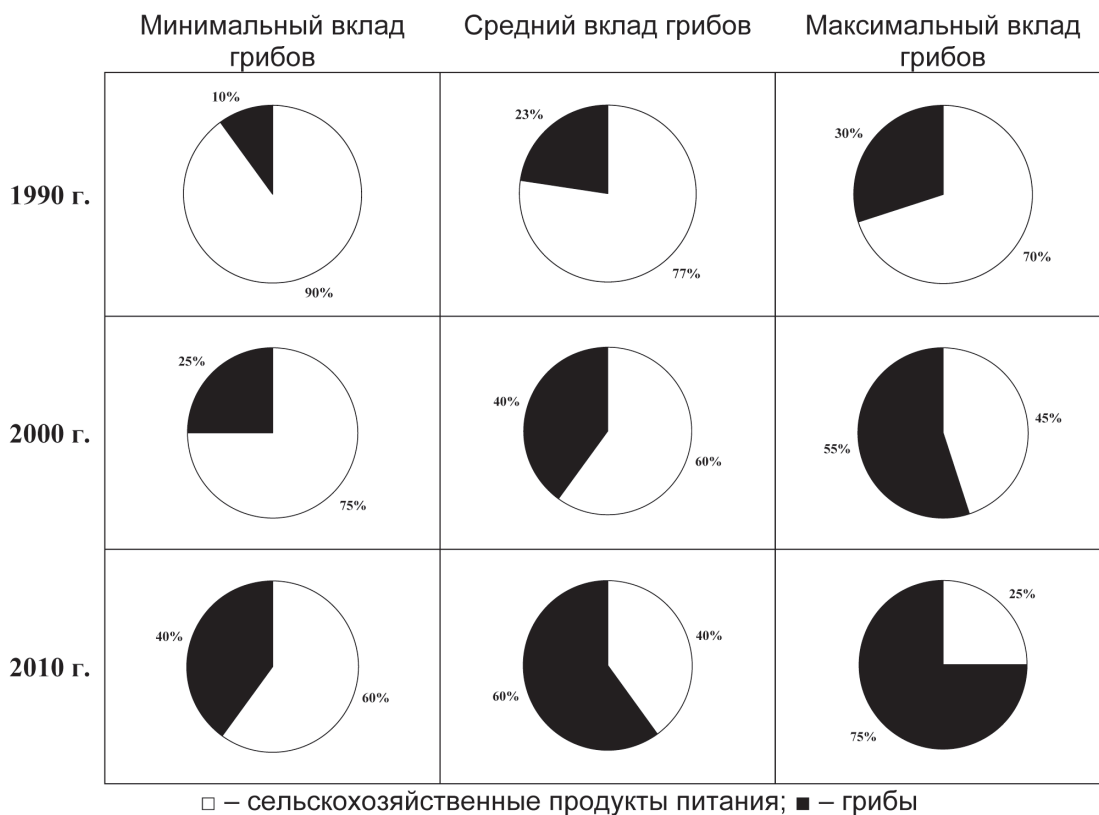


Рис. Вклад пищевых продуктов, содержащих ^{137}Cs , в дозу внутреннего облучения населения, проживающего в регионе аварии на ЧАЭС (оценка по литературным данным)

Проведенный анализ позволил не только оценить общий тренд изменения вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения, но и определить диапазон возможного варьирования данного показателя. В целом же, результаты, полученные разными авторами для схожих временных периодов, имеют достаточно большой разброс, иногда выходящий за определенный наиболее вероятный диапазон значений. Это может быть обусловлено особенностями выполнения расчетов, проведения исследований в различных регионах и экологических условиях, а также множеством других методических, социальных и природных факторов, которые необходимо учитывать при оценках.

Факторы, влияющие на оценку вклада грибов в формирование доз внутреннего облучения населения

Анализ литературных данных позволил выделить ряд возможных, часто взаимосвязанных, объективных и субъективных факторов, определяющих вариабельность оценок вклада грибов в дозу внутреннего облучения, полученных разными авторами.

Методическая база. В течение всего периода ликвидации последствий аварии на ЧАЭС происходило развитие методологических подходов к оценкам доз внутреннего облучения населения. В начальный период после аварии приоритетом при оценках доз внутреннего облучения являлись результаты, полученные с помощью СИЧ измерений, особенно для критических групп населения. В отдаленный период после аварии СИЧ измерения уже не показывали достоверных результатов вследствие низкого содержания радионуклидов в теле человека – на уровне или ниже границ обнаружения приборами. Далее по точности шли оценки, выполненные по поступлению радионуклидов с продуктами питания и, в несколько меньшей степени, результаты, полученные с помощью радиоэкологических моделей [43]. Например, в работе [44] представлена методика расчета доз внутреннего облучения населения с использованием данных о плотностях загрязнения ^{137}Cs территории населенных пунктов, параметрах переноса этого радионуклида в продукты питания, типах почв, разделенных по механическому составу, с учетом комплекса защитных и реабилитационных мероприятий. В исследованиях, выполненных в работе [45], проведено сопоставление оценок доз внутреннего облучения населения, основанных на СИЧ-измерениях с модельными расчетами, выполненными по поступлению радионуклидов с пищевыми продуктами питания. При этом в модели учитывались характеристики почв, размер населенного пункта и его близость к лесу. В обзоре [12] приведено описание целого ряда радиоэкологических моделей (FORESTDOSE_INTERNAL, FORESTPATH, ECOMODEL и др.) по оценке доз внутреннего облучения человека с использованием данных о загрязнении ^{137}Cs пищевых продуктов. Каждая из них имеет свои особенности.

Исходные данные для расчетов. Большое влияние на соотношение вклада грибов и сельскохозяйственной продукции в дозу внутреннего облучения человека могут оказать используемые для расчетов данные по содержанию ^{137}Cs в молоке. КП ^{137}Cs в молоко могут значительно отличаться не только на сельскохозяйственных угодьях с одинаковыми уровнями загрязнения, на что влияют свой-

ства почв, но даже в пределах одного сельсовета [19]. В работе [34] на примере юго-западных районов Брянской области было показано, что уровни загрязнения ^{137}Cs молока, производящегося в личных подсобных хозяйствах, в 1,5–6 раз выше, чем молока из коллективных хозяйств одного и того же населенного пункта, что обусловлено разными местами выпаса коров и контрамерами. Поэтому используемые для оценок данные по загрязнению ^{137}Cs молока, взятые, например, с рынков или местной торговой сети, где проводится радиологический контроль, могут дать заниженный вклад в дозу внутреннего облучения человека от данного вида пищевой продукции. Такая закономерность была отмечена и в работе [13], где в расчетах доз внутреннего облучения населения учитывались не только количество потребляемых продуктов, но и источник их производства (приобретения): личное приусадебное хозяйство или коллективное хозяйство (продовольственный магазин).

Важным фактором, определяющим вклад грибов в дозу внутреннего облучения населения, являются сезонные изменения, т.е. время года, для которого проводились оценки на основе мониторинговых данных. Так, в работе [7] на основе 85 тыс. СИЧ-измерений из 238 населенных пунктов показано, что в осенне-зимний период (август – февраль) доза внутреннего облучения населения в 1,5–2 раза выше, чем в весенне-летний (март – июль), что обусловлено повышенным потреблением населением сухих грибов. В работе [5] отмечено, что повышение удельной активности ^{137}Cs в молоке (критический период) приходится на время пастбищного содержания животных, причем максимальные уровни загрязнения наблюдаются в период с июня по сентябрь. Минимальное содержание ^{137}Cs в молоке обнаружено поздней осенью, зимой и в начале весны. Такая динамика удельной активности ^{137}Cs в молоке объясняется как различиями в составе кормов, так и характером содержания скота (стойловый период или выгульный).

Рационы питания населения. Одним из ключевых вопросов при оценке доз внутреннего облучения является корректная оценка рационов питания населения, поскольку от того, какое количество потребления продукта питания заложено в модель, будет напрямую зависеть и его вклад в дозу. Особенно важным это было для первых лет после аварии на ЧАЭС, когда рационы питания населения, проживающего на наиболее радиоактивно загрязненных территориях, были деформированы введенными ограничениями на потребление местных продуктов питания. Частный скот принудительно закупался государством, и население обеспечивалось «чистым» молоком, а также был введен запрет на сбор и потребление природной продукции. По данным работы [13], потребление молока жителями наиболее радиоактивно загрязненных районов снизилось в первые годы после аварии на 55–95%, мяса – на 50–70%, а грибов – на 60–70%. В связи с этим было предложено рассчитывать дозы внутреннего облучения населения по трем различным вариантам [13]:

- 1) по возможному поступлению с неизменным рационом питания;
- 2) по поступлению с деформированным после аварии на ЧАЭС («защитным») рационом;
- 3) по фактически измеренному у жителей среднему содержанию $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ в организме.

Необходимо отметить, что величины годового потребления грибов, используемые в радиоэкологических моделях оценки доз внутреннего облучения населения, у разных авторов достаточно сильно отличались. Так, по официальным данным Брянского областного комитета государственной статистики [11], годовое потребление грибов в домохозяйствах Брянской области на 1 человека составляло в 1985 г. – 1,5 кг, в 1990 г. – 1,6 кг, в 1995 г. – 2,1 кг, а в 2000 и 2005 гг. – 0,3 кг. Близкие к этим данным были показатели, например, в работах [29] – 2,3 кг/год и [46] – 0,99 кг/год. У других исследователей в модели расчета дозы внутреннего облучения закладывались гораздо большие величины потребления грибов населением: 0,028 кг/сут. (10,2 кг/год) [8]; 5,0 кг/год [15]; 5,6 кг/год [47]; 0,02 кг/сут. (7,3 кг/год) [48]; 10 кг/год [49]. Все это могло повлиять на значительную вариабельность результатов оценки вклада грибов в дозу внутреннего облучения.

Сельскохозяйственные защитные мероприятия. Широкомасштабное внедрение защитных и реабилитационных мероприятий как в коллективном, так и в частном секторе на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях, привело к резкому снижению уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственной продукции [4, 5, 34, 40, 42]. В 1990-е гг. жителям сельских населенных пунктов выделялись для выпаса частных молочных коров лугопастбищные угодья, на которых было проведено коренное улучшение, а также применялись ферроцин-содержащие препараты для коров. Все эти сельскохозяйственные защитные мероприятия позволили в несколько раз снизить загрязнение ^{137}Cs молока, производящегося в личных подсобных хозяйствах сельских населенных пунктов [17]. В то же время содержание радионуклидов в природных пищевых продуктах не уменьшалось, поскольку активные меры радиационной защиты в лесах не проводились и сводились только к запрету на сбор и потребление природной продукции, проконтролировать который было достаточно сложно. Это, в свою очередь, могло привести к смещению вектора дозоформирования в сторону природных пищевых продуктов, и вклад грибов в дозу внутреннего облучения на фоне защитных мероприятий в сельском хозяйстве мог значительно возрасти.

Кулинарная переработка грибов. Помимо ограничительных мероприятий, достаточно эффективным путем снижения поступления ^{137}Cs в организм человека с грибами была их кулинарная переработка, которая включала: очищение и мытье, отваривание с многократным сливом воды, маринование и др. Однако используемый в модельных расчетах коэффициент кулинарного снижения содержания ^{137}Cs в грибах у разных авторов отличался до трех раз. Так, в работе [22] он равнялся 0,6; в работах [15, 47, 50] – 0,5; в работе [29] – 0,4; в работах [49, 51] – 0,2. Такие разбросы коэффициента кулинарной переработки также могли повлиять на конечные результаты расчетов.

Расстояние населенного пункта от леса. Доступность для человека лесных ресурсов напрямую влияет на вклад природной продукции и, в частности, грибов в дозу внутреннего облучения населения. Так, при реализации международного проекта JSP5 [50] было показано, что чем ближе населенный пункт находится к лесу, тем чаще его посещает население, больше пользуется его дарами и тем выше вклад природных продуктов питания в дозу внутреннего облучения. В работе [17] на примере насе-

ленных пунктов юго-западных районов Брянской области показано, что в зависимости от близости населенного пункта к лесу вклад грибов в дозу внутреннего облучения населения может отличаться в 4 раза.

Размер населенного пункта. Данный фактор также может оказать влияние на перераспределение вклада основных дозообразующих продуктов питания, в том числе и грибов в дозу внутреннего облучения населения. В работах [7, 52] было отмечено, что с уменьшением численности жителей в населенном пункте повышается степень натурализации ведения в нем хозяйства, что приводит к увеличению доз внутреннего облучения населения. Это обусловлено повышенной долей продуктов из личных подсобных хозяйств и лесов в рационах питания жителей небольших населенных пунктов.

Социальный фактор. Внутри каждого населенного пункта существует вариабельность доз внутреннего облучения населения, обусловленная личностными характеристиками каждого из жителей (пол, уровень образования, психоэмоциональный статус и т.д.). Эти показатели влияют на отношение человека к радиационной опасности, в том числе и на потребление природной продукции в случае введения ограничительных мер. Так, в результате исследования данных о дозах внутреннего облучения, рассчитанных по результатам СИЧ-измерений для различных категорий населения, выявлены индивиды и семьи, относительные дозы которых были одинаковы на большом временном промежутке [53].

Почвенные характеристики. Свойства почв (в частности, механический состав) напрямую влияют на накопление ^{137}Cs в продуктах питания, в том числе и грибах [5]. Поэтому данный фактор является одним из ключевых при оценке вклада продуктов питания в дозу внутреннего облучения человека. В работе [14] представлены результаты, показывающие не только перераспределение во времени вкладов сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения, но и отличия данных процессов для территорий с различными почвенными характеристиками. Так, на легких (дерново-подзолистых песчаных) почвах вклад природных продуктов в дозу внутреннего облучения населения оказывается выше, чем на тяжелых (черноземных или глинистых) почвах, что обусловлено различными КП ^{137}Cs в пищевые продукты на этих типах почв. В других исследованиях также отмечена четкая зависимость физико-химических свойств почв на степень накопления ^{137}Cs в грибах. Так, КП ^{137}Cs из песчаных и супесчаных почв в грибы одного и того же вида в 10–100 раз выше, чем на серых лесных и черноземных почвах, а КП ^{137}Cs из торфяно-болотных почв выше, чем из песчаных [54]. В работе [6] показано, что в зависимости от почвенных характеристик такие отличия могут достигать 200 раз.

Грибы по степени накопления цезия. Изучению параметров миграции ^{137}Cs в различные виды грибов были посвящены многочисленные исследования специалистов в области лесной радиоэкологии [12]. Были показаны четкие зависимости влияния трофической и топической группы, а также глубины залегания мицелия различных видов грибов на интенсивность накопления ^{137}Cs , при этом КП данного радионуклида могут варьировать в 10–100 раз [31, 55].

Тип леса. В работах [56, 57] отмечается, что в грибах одного вида при одинаковых условиях степень накопле-

ния ^{137}Cs может значительно отличаться и уменьшаться в ряду хвойный лес > смешанный лес > лиственный лес.

Влажность почв также оказывает большое влияние на степень накопления радионуклидов в грибах. На увлажненных и переувлажненных почвах грибы одного и того же вида накапливают ^{137}Cs на порядок больше, чем на автоморфных почвах [58].

Погодные условия. Проведенные исследования позволили выявить зависимость величины КП ^{137}Cs в грибы и от погодных условий. Например, в работе [6] показано, что с увеличением атмосферных осадков в период вегетации КП ^{137}Cs в грибы возрастал. Также нельзя не отметить, что с ростом количества осадков возрастает и урожайность грибов, что влияет на увеличение их сбора и потребление населением. Наоборот, в засушливые годы потребление грибов падает.

Выделенные в настоящей работе факторы могут оказать существенное влияние (степень которого определить достаточно сложно) на конечные результаты модельных расчетов по оценке вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения.

Заключение

Представленные в литературном обзоре данные показывают, что после аварии на ЧАЭС потребление грибов, содержащих ^{137}Cs , было значимым фактором, определяющим формирование доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях. При этом роль грибной компоненты в формировании дозы внутреннего облучения человека с течением времени только возрастает. Оценка вклада пищевых продуктов, содержащих радионуклиды, и, в частности, грибов в формирование дозы внутреннего облучения населения, является достаточно сложной, многофакторной задачей. Поэтому модельные расчеты таких доз от поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания должны проводиться на единой методологической основе с использованием согласованных методик, корректных мониторинговых данных, а также с учетом влияния на процесс дозоформирования как социальных, так и природных аспектов.

Литература

- Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE). Vienna: IAEA, 2006. – 166 p.
- Алексахин, Р.М. Радиоэкологические уроки Чернобыля / Р.М.Алексахин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1993. – Т. 33, вып. 1. – С. 3–14.
- Шутов, В.Н. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов сельскохозяйственного производства и природного происхождения после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Н. Шутов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т.1, №3. – С. 25–30.
- Prister, V. Agricultural aspects of the radiation situation in the areas contaminated by the Southern Urals and Chernobyl accidents / V. Prister // In: Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. EUR 13574 Commission of the European Communities. – Luxembourg, 1990. – P. 449–463.
- Панов, А.В. Обоснование, оценка эффективности и оптимизация защитных и реабилитационных мероприятий на территориях, подвергшихся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... докт. биол. наук / А.В. Панов. – Обнинск, 2009. – 45 с.
- Тихомиров, Ф.А. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне влияния аварии на ЧАЭС / Ф.А. Тихомиров, А.И. Щеглов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1997. – Т. 37, вып. 4. – С. 669–670.
- Власова, Н.Г. Оценки доз облучения населения в отдаленном периоде аварии на ЧАЭС: опыт международного сотрудничества / Н.Г. Власова, Ю.В. Висенберг, Л.А. Чунихин // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, №1. – С. 45–52.
- Bruk, G.Ya. The role of the forest products in the formation of internal exposure doses to the population of Russia after the Chernobyl accident / G.Ya. Bruk [et al.] // Contaminated Forests, NATO Science Series / Eds. I. Linkov and W.R. Shell. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1999. – V. 58. – P. 343–352.
- Шутов, В.Н. Роль грибов и ягод в формировании дозы внутреннего облучения населения России после Чернобыльской аварии / В.Н. Шутов [и др.] // Проблемы обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации. – М.: ФЦГСЭН, 1998. – № 2. – С. 19–23.
- Кадука, М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на ЧАЭС / М.В. Кадука [и др.] // Труды Международной конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий», Москва, 5–6 декабря 2005 года. – СПб: Гидрометеоздат, 2006. – Т.3. – С. 230–239.
- Муратова, Н.А. Оценка рационов питания жителей Брянской области за период 1985–2005 гг. / Н.А. Муратова, А.Н. Давыдова // Сборник научных докладов международного семинара «Оценка доз облучения жителей Брянской области на основе измерения содержания цезия-137 в организме облучаемого контингента», ИБРАЭ РАН, 16–17 ноября 2006 г. / под общей ред. Т.А. Марченко – М.: Комтехпринт, 2006. – С. 32–39.
- Орлов, А.А. Радиоактивно загрязненные леса как критические ландшафты: радиоактивность пищевых продуктов и влияние на формирование дозы внутреннего облучения населения (аналитический обзор) / А.А. Орлов, В.П. Краснов, А.Л. Прищепа. – Житомир: Изд-во ЖИТИ, 2002. – 202 с.
- Травникова, И.Г. Эффективность защитных мероприятий по снижению дозы внутреннего облучения радионуклидами цезия жителей зоны радиоактивного загрязнения в первые годы после аварии на ЧАЭС / И.Г. Травникова // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 29–48.
- Балонов, М.И. Критерии защиты населения и реабилитации территорий России в отдаленный период после Чернобыльской аварии / М.И. Балонов, Л.И. Анисимова, Л.И. Перминова // Радиация и риск. – 1999. – Вып. 11. – С. 108–116.
- Травникова, И.Г. Пути формирования доз внутреннего облучения сельских жителей Брянской области после аварии на ЧАЭС (часть первая) / И.Г. Травникова // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 11–20.
- Olsen, R.A. Soil fungi and the fate of radiocaesium in the soil ecosystem – a discussion of possible mechanisms involved in the radiocaesium accumulation in fungi, and the role of fungi as a Cs-sink in the soil / R.A. Olsen, E. Joner, L.R. Bakken // Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environment / Eds. G. Desmet [et al.]. – London – New York: Elsevier Applied Science, 1990. – P. 657–663.
- Фесенко, С.В. Анализ факторов, определяющих формирование доз внутреннего облучения сельского населения и эффективность защитных мероприятий в сельском хозяйстве в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, № 5. – С. 487–499.
- Ипатьев, В.А. Лес и Чернобыль / В.А. Ипатьев [и др.] – Минск: МНПП «Стенер», 1994. – 235 с.

19. Skryabin, A.M. Distribution of doses received in rural areas affected by the Chernobyl accident. JSP-2 task 5 / A.M. Skryabin [et al.] // Report NRPB-R277 National Radiological Protection Board. – UK: Chilton, 1995. – 52 p.
20. Hubert, P. Generic input data on contamination / P. Hubert [et al.] // Final Report of ECP-4. – Luxembourg, 1996. – P. 120–125.
21. Johanson, K.J. The role of fungi in transfer of ¹³⁷Cs in the forest ecosystem / K.J. Johanson and I. Nikolova // Proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996 «Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident» / Eds. M. Gerzabek [et al.] – Vienna, 1996. – P. 259–265.
22. Kenigsberg, J. Exposures from consumption of forest produce / J. Kenigsberg [et al.] // Proceedings of the 1-st International Conference, Minsk, Belarus, 18–22 March, 1996. – Luxembourg, 1996. – P. 271–283.
23. Strand, P. Intake of radionuclides to man / P. Strand, B. Howard, V. Averin // Transfer of radionuclides to animals, their comparative importance under different agricultural ecosystems and appropriate countermeasures. Final Report of ECP-9. – Luxembourg, 1996. – P. 157–193.
24. Strand, P. Exposure from consumption of agricultural and semi-natural products / P. Strand [et al.] // The radiological consequences of the Chernobyl accident. Luxembourg, 1996. – P. 261–269.
25. Дворник, А.М. Доза внутреннего облучения населения от пищевой продукции леса / А.М. Дворник, Т.А. Жученко // Сборник тезисов докладов III съезда по радиационным исследованиям, Москва, 14–17 октября 1997 г. – Пушкино, 1997. – Т. 1. – С. 283–284.
26. Ипатьев, В.А. Радиоактивное загрязнение продукции лесного хозяйства в Беларуси / В.А. Ипатьев, И.М. Булавик, А.М. Дворник // Экспресс-информация. – № 5. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – С. 1–15.
27. Михайлов, А.В. Результаты оценки парциального вклада отдельных продуктов питания в дозу внутреннего облучения сельского населения Полесья в замкнутом крестьянском хозяйстве / А.В. Михайлов, И.П. Лось, Г.О. Богданов // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции «Наука. Чернобыль-97», Киев, 11–12 февраля 1998 г. – Киев, 1998. – С. 128.
28. Gyriy, V. Contribution of forest ecosystem to dose formation for inhabitants of the Ukrainian Polesie / V. Gyriy [et al.] // Contaminated forests. Recent developments in risk identification and future perspectives / Eds. I. Linkov, W.R. Shell. – Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1999. – P. 325–332.
29. Дворник, А.М., Модель Forestdose-internal формирования внутренней дозы облучения от леса / А.М. Дворник, Т.А. Жученко // Проблеми екології лісу і лісокористування на Поліссі України. – Вип. 1 (7). – Житомир: Волинь, 2000. – С. 139–148.
30. Жученко, Ю.М. Реабилитация лесных экосистем, загрязненных радионуклидами / Ю.М. Жученко [и др.] // Агрохимический Вестник. – 2001. – № 3. – С. 10–12.
31. Кадука, М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС : автореф. дисс. ... канд. биол. наук / М.В. Кадука. – Обнинск, 2001. – 23 с.
32. Соколик, Г.А. Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности: пособие для учителей общеобразовательных учреждений / Г.А. Соколик [и др.] ; под общей ред. Т.Н. Ковалевой, Г.А. Соколик, С.В. Овсянниковой. – Минск: Тонпик, 2008. – 366 с.
33. Щеглов, А.И. Лесная радиоэкология на пороге XXI века / А.И. Щеглов, О.Б. Цветнова // Чернобыль. Долг и мужество (научно-публицистическая монография). – М.: Воениздат, 2001. – Т. 1. – С. 507–518.
34. Панов, А.В. Радиоэкологическая ситуация в сельскохозяйственной сфере на загрязненных территориях России в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т. 47, № 4. – С. 423–434.
35. Спиридонов, С.И. Лесные экосистемы: прогноз последствий радиоактивного загрязнения и обоснование защитных мероприятий : автореф. дисс. ... докт. биол. наук / С.И. Спиридонов. – Обнинск, 2003. – 56 с.
36. Анненков, Б.Н. Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания) / Б.Н. Анненков, В.С. Аверин. – Минск: Пропилей, 2003. – 111 с.
37. Нестеренко, В.Б. Радиационный мониторинг жителей и их продуктов питания в Чернобыльской зоне Беларуси / В.Б. Нестеренко // Серия «Чернобыльская катастрофа». Информационный бюллетень № 24. – Минск, 2003. – 104 с.
38. Научное решение чернобыльских проблем (основные итоги 2006 года) / Информационный бюллетень. – Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии». – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 40 с.
39. Иванова, Е.Г. Оценка необходимости реабилитации населенных пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС / Е.Г. Иванова, А.В. Панов, А.А. Музалевская // Вестник РАСХН. – 2009. – №4. – С. 21–24.
40. Пристер, Б.С. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества / Б.С. Пристер [и др.]. – Киев: Украинское ядерное общество, 2007. – 64 с.
41. 25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2011. Российский национальный доклад / под общей ред. С.К. Шойгу, Л.А. Большова. – М., 2011 – 160 с.
42. Панов, А.В. Влияние защитных мероприятий на накопление ¹³⁷Cs сельскохозяйственными растениями из почвы после аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов [и др.] // Почвоведение. – 2009. – №4. – С. 484–497.
43. Балонов, М.И. Методология реконструкции дозы внутреннего облучения населения России вследствие Чернобыльской аварии / М.И. Балонов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т.1, № 3. – С. 12–19.
44. Власов, О.К. Схема реконструкции динамики доз внутреннего облучения населения на основе консервативных допущений, принятых в официальных методиках и при расчетах доз для каталогов / О.К. Власов // Радиация и Риск. – 2007. – Т. 16, № 2–4. – С. 109–132.
45. Рожко, А.В. СИЧ-ориентированный метод оценки годовых доз внутреннего облучения населения в отдаленный период чернобыльской аварии / А.В. Рожко [и др.] // Радиация и Риск. – 2009. – Т. 18, № 2. – С. 48–60.
46. Миненко, В.Ф. Методические подходы к расчету годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Белоруссии / В.Ф. Миненко, В.В. Дроздович, С.С. Третьякевич // Радиация и Риск. – 1996. – Вып. 7. – С. 246–252.
47. Громов, А.В. Оценка текущих доз внутреннего облучения жителей отдельных населенных пунктов Брянской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Громов // Радиационная гигиена. – 2010. – Т.3, №3. – С. 28–35.
48. Lichtarev, I. Assessing internal exposure and efficiency of countermeasures from whole body measurements / I. Lichtarev [et al.] // Proc. Of the 1-st international conference (Minsk, Belarus, 18–22 March, 1996). Luxembourg, 1996. – P. 295–308.
49. Shell, W.R. Radiation dose from Chernobyl forests: Assessment using FORESTPATH model / W.R. Shell, I. Linkov, E. Belenkaja // Proc. Of the 1-st international conference (Minsk, Belarus, 18–22 March, 1996). Luxembourg, 1996. – P. 217–220.

50. Jacob, P. Pathway analysis and dose distributions JSP5 / P. Jacob [et al.] // Final Report for the contracts COSUCT93-0053 and COSU-CT94-0091 of the European Commission. Brussels, 1995. – 130 p.
51. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial environments. – Vienna: IAEA / – Technical report series, 1994.
52. Evaluation of the Population Dose in Relation to Social and Geographical Factors after the Chernobyl accident / The Cooperation Project N 07 GUS01/7 – Final report – Ulich, Germany.
53. Власова, Н.Г. Методический подход реконструкции индивидуализированных доз облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС / Н.Г. Власова // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2012. – № 2 (8). – С. 120–129.
54. Кадука, М.В. Роль физико-химических свойств почвы в формировании радиоактивного загрязнения грибов / М.В. Кадука [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 32–35.
55. Радин, А.И. Загрязнение лесной продукции юго-западных районов Брянской области цезием-137 / А.И. Радин [и др.] // Сборник научных докладов международного семинара «Оценка доз облучения жителей Брянской области на основе измерения содержания цезия-137 в организме облучаемого контингента», ИБРАЭ РАН, 16-17 ноября 2006 г. / под общей ред. Т.А. Марченко – М.: Комтехпринт, 2006. – С. 27–31.
56. Heinrich, G. Optake and transfer factors of ^{137}Cs by mushrooms / G. Heinrich // Radiation environments biophysics. 1992. – № 31. – Springer Verlag. – P. 39–49.
57. Переволоцкий, А.Н. Радиационно-экологическая обстановка в лесных биогеоценозах: динамика, факторы, прогноз (на примере аварии Чернобыльской АЭС) : автореф. дисс. ... докт. биол. наук / А.Н. Переволоцкий. – Обнинск, 2013. – 38 с.
58. Цветнова, О.Б. Накопление радионуклидов и тяжелых металлов грибным комплексом лесных экосистем / О.Б. Цветнова, Н.Е. Шатрова, А.И. Щеглов // Научные труды института ядерных исследований. – Киев, 2001. – № 3 (5). – С. 171–176.

A.V. Panov, E.V. Marochkina, V.V. Ponomarenko

On the role of mushrooms in the internal dose formation to the population in the Chernobyl NPP accident affected areas

All-Russia Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology RAAS, Obninsk

Abstract. The present overview describes the results of the 25-year studies devoted to the estimation of the contribution of radionuclide containing mushrooms to the internal exposure dose to the population affected by the Chernobyl NPP accident. A significant increase with the time after the accident is shown for the contribution of mushrooms to the population internal exposure dose. Factors are identified influencing variability in the estimations of radionuclide from the mushroom component contribution to the population internal exposure dose.

Key words: Chernobyl accident, radioactive contamination, internal exposure, ^{137}Cs , foodstuffs, mushrooms, diets

Панов А.В.
Тел. (48439)9-69-59; (910)910-59-93
E-mail: riar@mail.ru

Поступила: 04.02.2014 г.