

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

В.Г. Сычёв, акад. РАН, П.М. Орлов, к.х.н., М.И. Лунёв, д.б.н., ВНИИА

Рассмотрены влияния крупномасштабных радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и японской АЭС «Фукусима» на загрязнение почв сельскохозяйственных угодий России техногенными радионуклидами. Проанализированы последствия загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr от Чернобыльской аварии, проведено ранжирование отдельных территорий и регионов по уровням загрязнения. На основе статистических расчетов получены количественные характеристики содержания в почвах ^{137}Cs и ^{90}Sr для загрязненных областей и страны в целом.

Ключевые слова: почвы, радиоактивное загрязнение, радиационные аварии, цезий-137, стронций-90.

В настоящее время на планете более 430 энергетических реакторов суммарной мощностью около 370 ГВт. По оценке МАГАТЭ, к 2030 г. суммарная мощность атомной энергетики в мире составит 700 ГВт. Сдерживающим фактором развития этого вида энергетики является опасность загрязнения объектов окружающей среды долгоживущими радионуклидами. По оценке многих специалистов, загрязнение почв сельскохозяйственных угодий техногенными радионуклидами - наиболее критичный фактор, который формирует значительную долю годовой дозы облучения человека.

До аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) радиационная ситуация на территории Советского Союза сложилась под воздействием радиоактивных выпадений от испытаний ядерного оружия. По оценке, данной в работе [1], среднее содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в середине 70-х годов XX в. в почве Северного полушария от всех испытаний ядерного оружия составляло 11 и 7 Бк/кг, соответственно. Можно было предположить, что в начале XXI в. в результате физического распада названных радионуклидов их содержание в почве снизится до 4-5 Бк/кг для ^{137}Cs и 2-3 Бк/кг для ^{90}Sr .

В 1957 г. на Южном Урале в хранилище высокоактивных жидких отходов в результате технической неисправности в атмосферу было выброшено около 2 млн Ки смеси осколочных радиоактивных изотопов. В связи с технологическими особенностями хранения отходов из долгоживущих радионуклидов основную долю составлял ^{90}Sr [2]. Радиоактивному загрязнению подверглись значительные площади пахотных земель и других сельскохозяйственных угодий. Уровни радиоактивного загрязнения были неравномерны. Площадь с наиболее высокой плотностью загрязнения почвы ^{90}Sr (более 200 Ки/км²) составила менее 1% территории радиоактивного следа, в то время как на территории, составляющей 94% площади следа, плотность загрязнения почвы была 0,1-1 Ки/км² (1 Ки/км² ~ 123 Бк/кг).

Защитные мероприятия, реализованные на территории следа, подразделялись на три группы: экстренные; мероприятия по обеспечению длительного и безопасного проживания населения на следе; мероприятия по обеспечению безопасного сельскохозяйственного использования территории следа.

Итоги изучения и ликвидации последствий аварии позволили сделать ряд выводов радиационно-гигиенического характера, имеющих важное значение для решения вопросов радиационной безопасности населения в мирное время и противоатомной защиты на случай ядерной войны. Проведенные исследования позволили разработать и апробировать научные основы прогноза содержания радиоактивных веществ в различных звеньях пищевой цепи и рационе населения при воздушном локальном загрязнении территории. Получены общие соотношения, характеризующие воздушное загрязнение различных элементов ландшафта при выпадении радиоактивных аэрозолей.

Основываясь на данных реально сложившейся радиационной обстановки, были разработаны временные нормативы допустимого облучения населения, проживающего на территории следа. Их применение устранило опасность переоблучения людей и позволило разумно подойти к планированию и реализации защитных мероприятий.

Проведение широкого комплекса экстренных и плановых защитных мероприятий резко уменьшило опасность переоблучения людей. Только за счет введения режима санитарно-защитной зоны поступление ^{90}Sr в рацион жителей снизилось до 0,1 мкКи в год, что меньше допустимого. При медицинском обследовании населения не выявлено ни одного случая лучевой болезни.

На основе изучения и ликвидации последствий этой аварии получен богатый опыт по организации радиационного контроля за загрязнением территорий [2].

Спустя 29 лет, 26 апреля 1986 г. на Украине на 4-м блоке Чернобыльской АЭС произошла крупнейшая в истории развития атомной энергетики радиационная авария.

Суммарная активность выброса продуктов деления (без радиоактивных благородных газов) составила 50 МКи ($1,85 \cdot 10^{18}$ Бк), что соответствовало примерно 3,5% от общей активности радионуклидов в реакторе на момент аварии. Эти данные были рассчитаны на 6 мая 1986 г. с учетом радиоактивного распада [3-5].

Авария на ЧАЭС привела к загрязнению обширных территорий Украины, Белоруссии и европейской части Российской Федерации. В России почвы 19 областей были загрязнены ^{137}Cs с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км². Особенно сильно пострадали сельскохозяйственные угодья Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей.

Для получения статистических оценок эти области были разделены на две группы. В первую группу вошли четыре упомянутых выше области. В таблице 1 приведены площади загрязнения сельскохозяйственных угодий областей, вошедших в эту группу. С использованием данных, приведенных в работе [7], были оценены статистические показатели, характеризующие загрязнение почв на уровне районов в указанных четырех областях.

1. Площадь сельскохозяйственных угодий субъектов РФ, интенсивно загрязненных ^{137}Cs , тыс. га (обследование 1993 г.) [6]

Область	Плотность загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ²			
	1-5	5-15	15 - 40	Более 40
Брянская	401	185	95	17
Калужская	128	33	1	-
Тульская	653	126	-	-
Орловская	396	23	-	-

Из данных таблицы 1 следует, что загрязнение ^{137}Cs почвы каждой из четырех областей неравномерное. Существуют районы с низким содержанием ^{137}Cs в почве. Для Брянской области это Брянский, Выгоничский и ряд других районов. Среднее содержание ^{137}Cs в почве этих районов составляет 20 Бк/кг. Очень высокое среднее содержание ^{137}Cs в почве в Гордеевском (847 Бк/кг), Красногорском (920 Бк/кг), Злыковском (1220 Бк/кг), Новозыбковском (1230 Бк/кг) районах. В каждом из них загрязнение почвы также неравномерное. В Гордеевском районе типичный интервал изменения концентраций ^{137}Cs в почве составляет 370-1330 Бк/кг, в Новозыбковском - 740-1720, Злыковском - 500-1940 Бк/кг. В Красногорском районе неравномерность загрязнения такова, что не удается оценить нижнюю границу типичного содержания, верхняя граница при этом со-

ставляет 2120 Бк/кг. Такая же неравномерность и в других загрязненных районах Брянской области.

В Тульской области среднее содержание ^{137}Cs в почве равно 178 Бк/кг, типичный интервал составляет 70–286 Бк/кг. Районы Плавский (440 Бк/кг), Арсеньевский (300 Бк/кг), Узловский (300 Бк/кг) и Белевский (280 Бк/кг) наиболее загрязнены в Тульской области. Среднее содержание ^{137}Cs в почве здесь ниже, чем в Брянской области. Типичные интервалы содержания радионуклида также широкие для всех загрязненных районов.

В Калужской области среднее количество ^{137}Cs в почве 110 Бк/кг. Нижнюю границу типичного содержания оценить не удастся из-за большого стандартного отклонения, верхняя граница равна 230 Бк/кг. Ульяновский (320 Бк/кг), Жиздринский (220 Бк/кг) и Людиновский (170 Бк/кг) районы наиболее загрязнены в Калужской области.

В Орловской области среднее содержание ^{137}Cs в почве равно 87 Бк/кг. Типичный интервал изменения концентрации радионуклида в почве составляет 21–153 Бк/кг. Наиболее загрязнены почвы в Болховском (265 Бк/кг) и Свердловском (220 Бк/кг) районах.

Остальные субъекты РФ, которые подверглись загрязнению радиоактивными выпадениями от Чернобыльской аварии, отнесены ко второй группе (табл.2). Плотность загрязнения почв в этих областях не превышала 5 Ки/км², в основном она находилась в интервале 2–3 Ки/км².

В таблице 2 приведены средние значения, стандартные отклонения и типичные интервалы содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах сельскохозяйственных угодий этих областей в 2011 г., рассчитанные по данным локального мониторинга на реперных участках подразделений агрохимической службы [8]. Как следует из таблицы 2, среднее содержание ^{137}Cs в почве загрязненных областей не превышает 60 Бк/кг, а верхняя граница типичных интервалов – 133 Бк/кг. Эта граница относится к Рязанской области, она образуется за счет большого доверительного интервала.

Вся совокупность областей, представленных в таблице 2, разделена на два подмножества. В первое подмножество вошли Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Пензенская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская области и Республика Мордовия. В этих субъектах среднее содержание ^{137}Cs в почве превышает аналогичный параметр для России.

2. Средние значения, стандартные отклонения и типичные интервалы содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах сельскохозяйственных угодий второй группы субъектов РФ в 2011 г.

№ п/п	Субъект РФ (область, республика)	Среднее	Стандартное отклонение	Типичный интервал	Число участков
Бк/кг					
1	Белгородская	22/4,5	8,1/0,7	14-30/ 3,8-5,2	10
2	Воронежская	39/5,3	20/2,3	19-59/3,0-7,6	37
3	Курская	41/3,6	47/0,6	<88/3,0-4,2	30
4	Липецкая	51/8,1	25/5,9	26-76/2,2-14	40
5	Ленинградская*	41/9,1	40/3,5	<81/5,6-12,6	22
6	Нижегородская	11,4/4,1	12,3/0,9	<24 /3,2-5,0	15
7	Пензенская	33	9,5	23,5-42,5	15
8	Рязанская	51	82	<133	17
9	Саратовская	16/6,1	14/3,0	2-30/3,1-9,1	14
10	Смоленская	13/3,5	5,6/0,5	7,4-18,6/3-4	18
11	Тамбовская	38/1,9	16/2,0	22-54/ <4	23
12	Ульяновская	4,1/2,1	0,6/0,3	3,5-4,7/1,8-2,4	18
13	Мордовия	32/15	23/6,5	9-55/8,5-21,5	20
14	Татарстан	8,3/3,5	1,5/0,9	6,8- 9,8/2,6-4,4	18
15	Чувашия	11,8/2,0	6,0/0,6	5,8-17,8/1,4-2,6	22
Россия в целом (2011 г.)		13,8/4,7	17,3/3,9	<31/0,8- 8,6	1338

*Данные 2004 г.

Из подмножества исключена Ленинградская и Рязанская области, так как для них отсутствуют систематические данные. Для этого подмножества субъектов РФ прослежена вре-

Плодородие №3•2016

менная зависимость изменения концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве реперных участков с 1991 по 2011 гг. На рисунке 1 показана динамика изменения средних значений по группе.

Исходя из полученной временной зависимости, была дана оценка периода полувыведения ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в условиях загрязнения от аварии на ЧАЭС. Период полувыведения ^{137}Cs из загрязненной Чернобыльскими выпадениями почвы составил $24,0 \pm 1,5$ года, для ^{90}Sr – $22,5 \pm 3,5$ года.

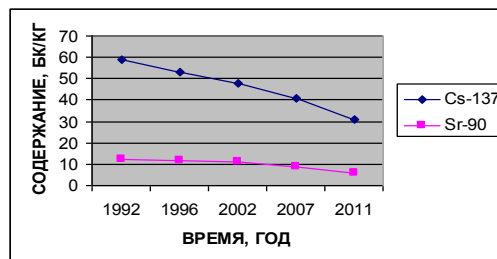


Рис. 1. Динамика изменения среднего (по группе) содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах областей первого подмножества

Во второе подмножество вошли Нижегородская, Саратовская, Смоленская, Ульяновская области, Республика Татарстан и Чувашская Республика. В этих субъектах РФ средние значения загрязнения почв не отличаются от средних по РФ. В Нижегородской и Саратовской областях наблюдаются значения, сравнимые со средними значениями и стандартными отклонениями по России. Большие стандартные отклонения являются следствием пятнистости загрязнения почв ^{137}Cs . По данным локального мониторинга, в настоящее время проблем радиоактивного загрязнения почвы в этих субъектах нет.

Данные агрохимслужбы по загрязнению почв реперных участков локального мониторинга объединены в одно множество для оценки интегральных характеристик загрязнения почв России в целом в 2014 г. Они получены от 70 субъектов РФ с 869 реперных участков, результаты представлены в таблице 3.

3. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГ) и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах России в 2014 г.

Статистический параметр	МЭДГ, мкр/ч	Содержание, Бк/кг	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Среднее значение	11,4	12,9	5,6
Стандартное отклонение	2,9	18	3,9
Стандартное отклонение среднего	0,1	0,3	0,1
Экссесс	0,9	87	4,5
Медиана	11,2	8,4	4,5
Число участков	793	869	755

Полученная совокупность данных позволяет дать сравнительную характеристику типов почв по радиологическим параметрам (рис.2). Среднее значение МЭДГ для отдельных типов почв изменяется незначительно – от 11,0 (дерново-подзолистые почвы) до 11,7 (каштановые почвы) мкр/ч.

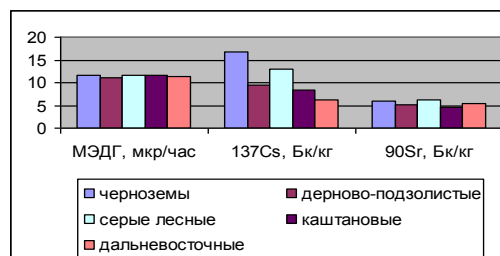


Рис. 2. Сравнительные диаграммы средних значений радиологических показателей основных типов почв

По содержанию ^{137}Cs почвы располагаются в следующем ряду: черноземы > серые лесные > дерново-подзолистые > каштановые > дальневосточные. Среднее содержание ^{137}Cs в черноземах значительно выше, чем в иных рассматриваемых типах почв. Среднее содержание ^{137}Cs в серых лесных почвах

занимает промежуточное значение. Повышенное среднее содержание ^{137}Cs в черноземах связано, по-видимому, с загрязнением почв Центрально-Черноземного района от чернобыльских выпадений. Повышенное содержание ^{137}Cs в серых лесных почвах по сравнению с дерново-подзолистыми, каштановыми и почвами Дальнего Востока обусловлено радиоактивными выпадениями от аварии на ЧАЭС в республике Мордовия.

По содержанию ^{90}Sr почвы располагаются в следующем порядке: серые лесные = черноземы > дальневосточные > дерново-подзолистые > каштановые. Различия в средних значениях, находящиеся в интервале 3,7-5,3 Бк/кг, незначительны. С учетом погрешности средние значения для серых лесных и черноземных почв равны.

После Чернобыльской аварии накоплены систематизированные данные о МЭДГ и содержании ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах реперных и контрольных участков сельскохозяйственных угодий России, полученные в агрохимической службе с 1991 по 2011 г. Результаты статистической обработки представлены в таблице 4. Они позволяют проследить временную зависимость.

С 1995 по 2007 г. наблюдалось некоторое снижение среднего содержания ^{137}Cs в почвах реперных и контрольных участков. Это снижение было более медленным или соответствовало снижению за счет радиоактивного распада ^{137}Cs . С 2003 г. средняя концентрация ^{137}Cs в почве в пределах статистической погрешности остается постоянной.

4. Динамика изменения МЭДГ и уровней загрязнения почв России

Годы наблюдения	Среднее значение / стандартное отклонение / стандартное отклонение среднего			Число участков (субъектов)
	МЭДГ, мкр/ч	^{137}Cs , Бк/кг	^{90}Sr , Бк/кг	
1991-1994*	11,4/2,3/0,3	15,7/22/3,0	5,4/4,6/0,6	1066 (60)
1995-1998*	11,2/2,2/0,3	17,7/30,6/3,9	5,0/3,8/0,5	1685 (62)
2003	11,1/3,8/0,1	13,8/24,2/0,8	5,6/3,1/0,1	928
2007	10,8/2,5/0,1	13,4/20/0,5	5,1/4,4/0,1	1903
2011	11,6/3,8/0,1	13,8/17,3/0,5	4,7/3,9/0,1	1338
2014	11,4/2,9/0,1	12,9/18/0,3	5,6/3,9/0,1	869

*Для статистических данных 1991-1994 гг. и 1995-1998 гг. расчеты проведены по средним значениям для всех учитываемых субъектов РФ.

С 1991 по 2014 г. среднее содержание ^{90}Sr в почвах находится в интервале 4,7–5,6 Бк/кг. С 2003 по 2011 г. наблюдается снижение средних концентраций ^{90}Sr в почве контрольных и реперных участков, в 2014 г. - увеличение по сравнению с 2011 г.

11 марта 2011 г. вблизи острова Хонсю в Японии произошло землетрясение магнитудой 9,0 баллов, приведшее к возникновению цунами. Следствием этого стихийного бедствия стала авария на японской АЭС «Фукусима». Эта авария стала крупнейшей гражданской радиационной катастрофой после аварии на Чернобыльской АЭС. Было рекомендовано выселить 78 тыс. человек в радиусе 20 км от АЭС. Еще 19 тыс. человек предложили эвакуировать из «языков» к северо-востоку от АЭС «Фукусима». Аварии присвоили высший (7-й) уровень опасности по международной шкале ядерных и радиологических событий INES. К такому уровню опасности ранее была отнесена авария на ЧАЭС [9].

Выбросы ^{137}Cs и ^{131}I в этом случае были ниже, чем при

Чернобыльской аварии. Основными радиационными воздействиями на население в первый год после аварии были внешнее облучение, ингаляция и поступление с пищевыми продуктами.

Главным стратегическим направлением реабилитации деятельности при ликвидации последствий радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова в Японии была избрана его интенсивная деконтаминация (очистка) в зоне воздействия. Реабилитация сельскохозяйственных угодий - одно из главных способов снижения доз облучения населения. Конечной целью реабилитационных работ является достижение уровня облучения человека 1 мЗв/год.

Исходя из данных таблицы 4, можно отметить, что авария на АЭС «Фукусима» не повлияла на уровни радиоактивности почв сельскохозяйственных угодий России. Частично она компенсировала те положительные тенденции к снижению уровней загрязнения почв радионуклидами, которые наблюдались в России с 2003 по 2010 г. Также можно предположить, что авария на АЭС «Фукусима» несколько увеличила МЭДГ в 2011 г. на полях сельскохозяйственных угодий РФ за счет присутствия в почве и приземном воздухе короткоживущих продуктов распада.

Таким образом, оценка последствий крупных радиационных аварий показала, что почвы сельскохозяйственных угодий являются одним из основных объектов негативного воздействия выбросов радионуклидов в ходе таких аварий. Учитывая важную роль почвы в получении сельскохозяйственной продукции и в конечном итоге продуктов питания для человека и кормов для животных, особое внимание в подобных ситуациях необходимо уделять всестороннему контролю радиационного состояния сельхозугодий и отслеживанию динамики этого состояния. Другим немаловажным аспектом являются разработка и реализация мероприятий по снижению уровней загрязнения сельхозугодий техногенными радионуклидами и создание условий для получения продукции, отвечающей существующим санитарно-гигиеническим нормативам.

Литература

1. Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 год Генеральной Ассамблее с приложениями, Т.1.- С.233, 260.- Нью-Йорк, 1978. 2. *Итоги* изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 144 с. 3. *Итоговый доклад* о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле: Сер. изд. по безопасности № 75-INSAG-1, МАГАТЭ.- Вена, 1988. - 110 с. 4. Коваленко Г.Д. Радиэкология Украины: монография.- Харьков: Инжек, 2008. - 264 с. 5. Aarkrog A. Global radioecological impact of nuclear activities in the former Soviet Union// Proceeding of an international symposium on environmental impact of radioactive release. IAEA Vienna (8-12 May 1995). - Vienna, 1995.- P 13-32. 6. *Государственный доклад* «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1993 году». Утв. Постановл. Прав. РФ от 24.01.93 г., №53. - С. 64-69. 7. *Справочник* по радиационной обстановке и дозам облучения населения районов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Под ред. М.И. Баллонова. - С-Пб., 1992. - 140 с. 8. Сычев В.Г., Лунёв М.И., Орлов П.М., Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС). - М.: ВНИИА, 2016. - 184 с. 9. Алексахин Р.М., Сычев В.Г. Радиологические аспекты реабилитации сельского хозяйства после аварии на АЭС «Фукусима Даичи» // Плодородие. -2013.- № 4(73). - С.2-6.

LARGE-SCALE RADIATION ACCIDENTS AND SOIL CONTAMINATION WITH TECHNOGENIC RADIONUCLIDES

V.G. Sychev, P.M. Orlov, M.I. Lunev

, Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, e-mail: info@vniia-pr.ru

The effect of large-scale radiation accidents at the Chernobyl NPP and the Fukushima NPP (Japan) on the contamination of agricultural soils with technogenic radionuclides in Russia was examined. Implications of soil contamination with ^{137}Cs and ^{90}Sr from the Chernobyl accident were analyzed; separate areas and regions were ranked by the contamination level. From statistical calculations, quantitative parameters for the contents of ^{137}Cs and ^{90}Sr in soils were obtained for the contaminated regions and the entire country. Keywords: soils, radiation contamination, radiation accidents, cesium-137, strontium-90.