

РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ДЛИТЕЛЬНОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ

П. М. Орлов, кандидат химических наук, старший научный сотрудник

В. Г. Сычёв, академик РАН, профессор

Н. И. Аканова, доктор биологических наук, профессор

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова

E-mail: n_akanova@mail.ru

Ключевые слова: почвы, локальный радиационный мониторинг, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, содержание в почве ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{232}Th , загрязнение ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных растений.

Реферат. Представлены результаты локального радиационного мониторинга почв сельскохозяйственных угодий Сибири. На уровне субъектов РФ оценены мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГ), содержание техногенных и естественных радионуклидов в различных типах почв Сибири. Установлено изменение МЭДГ в пределах 8,0–12,2 мкР/ч, содержания ^{137}Cs в интервале 4,3–9,9 Бк/кг, ^{90}Sr – 1,0–5,4, ^{226}Ra – 15–37, ^{232}Th – 16–40 Бк/кг. Проведено сравнение полученных параметров с аналогичными, характеризующими радиационную ситуацию в почвах сельскохозяйственных угодий России. МЭДГ, содержание ^{90}Sr и содержание естественных радионуклидов в почвах Сибири соответствуют таковым в среднем для России. Содержание ^{137}Cs в почвах в 1,7–2,6, а в растениеводческой продукции в 1,6–2,3 раза ниже, чем по России. Содержание естественных радионуклидов в почвах Сибири близко к содержанию в почвах в среднем по России и планете в целом. По данным локального мониторинга, радиационная обстановка на полях сельскохозяйственных угодий Сибири характеризуется как стабильная и благополучная.

RADIATION REGIME OF SOILS OF AGRICULTURAL LANDS OF SIBERIA IN CONDITIONS OF VARIOUS INTENSITY OF CHEMICAL USE AND PROLONGED AFTERAFFECT CHEMICAL RECLAMATION

P. M. Orlov, doctor of chemical sciences, senior scientific researcher

V. G. Sychev, academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Institute

N. I. Akanova, doctor of biological sciences, Professor, group leader

D. N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, Moscow

Key words: soil, local radiation monitoring, power of gamma radiation exposure dose, the substance in soil ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{90}Sr contamination of agricultural plants.

Abstract. Presents the results of radiation monitoring local soils agricultural land in Siberia. At the level of the constituent entities of the Russian Federation appreciated the power of gamma radiation exposure dose (MJeDG), technotronic and content of natural radionuclides in different types of soils in Siberia. Set MJeDG change within 8.0–12.2 mcr/h, ^{137}Cs content in the range of 4.3–9.9 Bq/kg, ^{90}Sr –1.0–5.4 Bq/kg, ^{226}Ra –15–37 Bq/kg, ^{232}Th –16–40 Bq/kg. Comparison with similar parameters obtained, characterizing the radiation situation in soils of agricultural land in Russia. MJeDG, the content of ^{90}Sr and content of natural radionuclides in soils of Siberia correspond to those for Russia. Content of ^{137}Cs in soils in –2.6 1.7 times, in crop production in –2.3 1.6 times lower than in Russia. Content of natural radionuclides in soils of Siberia close to the contents in the soils in Russia on average and the planet. According to local monitoring radiation situation in agricultural fields.

Контроль над загрязнением окружающей среды во всем мире придается большое значение, в этой связи мониторинг почв сельскохозяйственных угодий имеет первостепенное значение. Информацию

о радиоактивности почвы как важной составляющей характеристики окружающей среды и радиационной безопасности населения необходимо получать не только в районах радиоактивного загрязнения, но и там, где уровень радиации не превышает глобальный. Особое значение агроэкологический мониторинг состояния почв земель сельскохозяйственного назначения и сельскохозяйственных растений приобретает в связи с реализацией Федерального закона о радиационной безопасности населения.

Вся совокупность результатов мониторинга, полученных из государственных центров и станций агрохимической службы РФ, разбита на множества в соответствии с основными типами почв (черноземы, дерново-подзолистые, серые лесные и каштановые) и проведена статистическая обработка результатов, на основе которой вычислены основные статистические параметры.

Сибирь является одним из важнейших регионов России. Сохранение её экологического благополучия является условием дальнейшего экономического развития. Наличие в Сибири крупных радиохимических производств обуславливает вероятность загрязнения почв сельскохозяйственных угодий техногенными радионуклидами, а добыча полезных ископаемых – природными радионуклидами ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th и продуктами их распада.

Важнейшим показателем радиационного благополучия региона и радиационной безопасности населения является уровень загрязнения почвы сельскохозяйственных угодий техногенными радионуклидами. В отличие от европейской части России [1–3], Сибирь не подверглась радиоактивному загрязнению из радиоактивных облаков вследствие Чернобыльской аварии. Поэтому радиационная обстановка на сельскохозяйственных угодьях Сибири существенно отличается от характерной для европейской части России и страны в целом.

В настоящих исследованиях радиационной обстановки на сельскохозяйственных угодьях Сибири использованы данные локального мониторинга на реперных участках государственных агрохимических центров и станций агрохимической службы. Проведена оценка уровней загрязнения почвы техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , естественными радионуклидами ^{226}Ra и ^{232}Th и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГ). На уровне субъектов РФ и типов почв оценены средние значения, типичные интервалы содержания и погрешности в определении средних значений. Данные о мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и содержании ^{137}Cs и ^{90}Sr с 259 реперных участков 11 субъектов РФ представлены в табл. 1. Статистические расчеты проведены с уровнем доверия 0,95.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на сельскохозяйственных угодьях Сибири несколько ниже, чем в целом по России, и находится в пределах 8,0–12,2 мкр/ч, максимальное значение наблюдается в Алтайском крае (16,2 мкр/ч), а минимальное – в Иркутской области (4,1 мкр/ч).

Содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве находится на уровне глобального загрязнения почвы. Максимальное загрязнение ^{137}Cs наблюдается в Бурятии (7,3–17,7 Бк/кг) и Омской области (8,1–14,1 Бк/кг), в остальных субъектах среднее содержание ^{137}Cs в почве <10 Бк/кг. Содержание ^{90}Sr не превышает глобальный уровень загрязнения почв и в целом по Сибири оно ниже, чем в среднем по России [4, 5].

Таблица 1

Содержание техногенных радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий Сибири (2016 г.)

Субъект РФ (количество реперных участков)	МЭДГ, мкр/ч		Содержание, Бк/кг			
			^{137}Cs		^{90}Sr	
	среднее	стандарт. интервал	среднее	стандартный интервал	среднее	стандартный интервал
1	2	3	4	5	6	7
Алтайский край (65)	13,4± 0,4	10,6–16,2	8,1± 0,3	5,9–10,3	6,6± 0,5	2,2–11
Бурятия (8)	10,2± 0,05	10,1–10,3	12,5± 1,8	7,3–17,7	5,8± 1,1	2,2–9,0
Иркутская область (16)	5,0±0,6	4,1–5,9	4,3±0,6	1,6–5,2	3,4±0,5	0,5–9,5
Кемеровская область (10)	10,3±0,6	8,5–12,1	5,8±0,3	4,8–6,8	1±0,2	0,7–1,7
Красноярский край (52)	8,6±0,2	7,2–10,0	7,0±0,3	4,6–9,4	1,8±0,2	0,4–3,2
Новосибирская область (18)	9,9±0,3	9,1–10,7	9,0±0,8	5,6–12,4	6,3±0,4	4,5–8,1
Омская область (20)	10,5±0,2	9,5–11,5	11,1±0,7	8,1–14,1	2,7±0,1	2,3–3,1
Томская область (10)	11,7±0,3	10,8–12,6	5,2±0,4	3,9–6,5	1,3±0,2	0,8–1,8
Республика Тыва (22)	9,7±0,2	8,7–10,7	4,3±0,3	3,2–5,4	3,6±0,5	1,3–5,9
Тюменская область (19)	12,0±0,9	8,1–15,9	5,7±0,6	2,9–6,5	2,5±0,3	1,2–3,8

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Республика Хакасия (19)	10,3±0,3	9,0–11,6	5,2±0,7	2,1–8,3	0,4±0,1	0,1–0,7
Сибирь в целом	10,1±0,6	8,0–12,2	7,1±0,8	4,3–9,9	3,2±0,6	1,0–5,4
Россия	11,1±0,1	8,4–13,8	12,0±0,4	< 26	4,7±0,1	1,0–8,4

МЭДГ и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных типах почв Сибири представлены в табл. 2, для сравнения дано значение этих же параметров в основных типах почв России. В черноземных почвах Сибири среднее значение МЭДГ несколько ниже, чем в среднем по России. Среднее значение содержания ^{137}Cs в черноземах Сибири в 2,1 раза ниже, чем в среднем по черноземам России. Среднее значение содержания ^{90}Sr в черноземах Сибири также ниже, чем в черноземах России, однако различие менее значительно по сравнению с ^{137}Cs .

Для дерново-подзолистых почв Сибири характерны пониженные уровни МЭДГ и загрязнения ^{137}Cs по сравнению с дерново-подзолистыми почвами России: содержание ^{90}Sr меньше нижнего предела обнаружения этого радионуклида (1 Бк/кг) методами, применяемыми в агрохимической службе. Данные радиологического мониторинга поступили из 1 субъекта РФ с 4 реперных участков, что недостаточно для оценки содержания ^{90}Sr в дерново-подзолистых почвах Сибири. По косвенной оценке, основанной на загрязнении дерново-подзолистых почв Сибири ^{137}Cs и соотношении $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$, можно предположить, что среднее содержание ^{90}Sr в этих почвах находится в интервале 3–4 Бк/кг, а верхняя граница не превышает 7 Бк/кг.

Таблица 2

Мощность экспозиционной дозы и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных типах почв Сибири и России

Параметр	Сибирь			Россия		
	МЭДГ, мкр/ч	Содержание, Бк/кг		МЭДГ, мкр/ч	Содержание, Бк/кг	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Черноземные почвы						
Среднее	10,4	7,5	4,7	11,6	15,9	5,1
Стандартное отклонение	3,3	3,2	4,2	2,4	16,0	3,8
Погрешность среднего	0,3	0,2	0,3	0,1	0,7	0,2
Количество участков	135	166	153	496	550	486
Дерново-подзолистые почвы						
Среднее	6.0	6.9	-	10,5	8,4	4,1
Стандартное отклонение	2.1	2.6	-	3,0	9,1	3,1
Погрешность среднего	0.7	0.8	-	0,2	0,5	0,2
Количество участков	10	10	-	262	282	274
Серые лесные почвы						
Среднее	9.2	6.5	4.0	10,8	12,1	5,6
Стандартное отклонение	2.5	2.7	3.1	2,8	20,5	5,4
Погрешность среднего	0.4	0.4	0.5	0,3	1,9	0,5
Количество участков	44	44	37	102	111	105
Каштановые почвы						
Среднее	11.8	7.1	4.0	10,7	8,1	4,0
Стандартное отклонение	2.8	4.7	2.2	2,8	3,5	2,3
Погрешность среднего	0.5	0.8	0.4	0,2	0,3	0,2
Количество участков	36	36	33	134	136	132

Для серых лесных почв Сибири среднее значение мощности экспозиционной дозы равно 9,2 мкр/ч, оно на 1,6 мкр/ч меньше, чем аналогичный показатель для России. Среднее содержание ^{137}Cs в серых лесных почвах в 1,9 раза ниже, чем в среднем в серых лесных почвах России. Содержание ^{90}Sr в серых лесных почвах Сибири меньше, чем таковое по России, на 1,6 Бк/кг.

Мощность экспозиционной дозы и параметры радиоактивного загрязнения каштановых почв Сибири и России незначительно и несущественно отличаются друг от друга.

На рис.1 представлена зависимость средних значений параметров радиоактивного загрязнения почв Сибири от времени. Среднее значение МЭДГ по годам изменяется в интервале 10–12 мкр/ч, мак-

симальное значение наблюдалось в 1992–1994 гг. (~12 мкр/ч). Далее произошло его снижение и стабилизация на уровне ~ 10 мкр/ч.

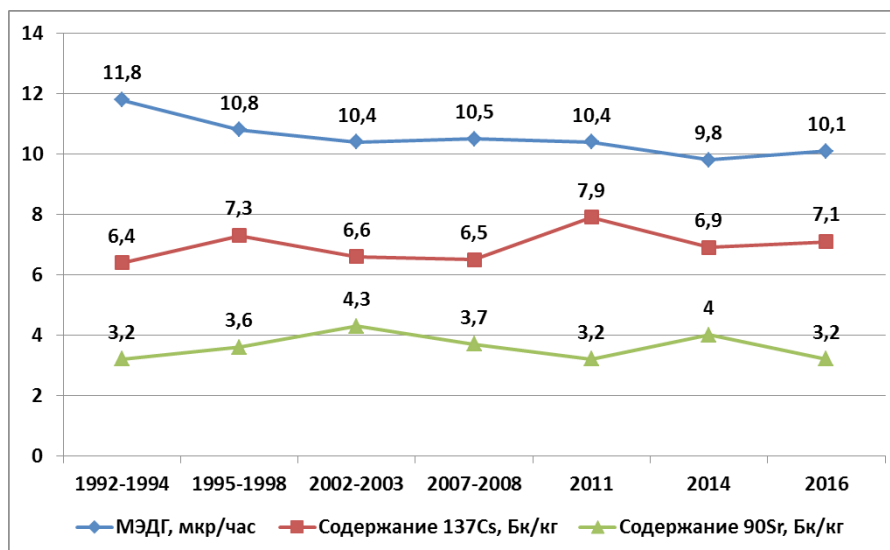


Рис. 1. Мощность экспозиционной дозы и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири

Следует отметить, МЭДГ является сложной величиной, она определяет дозу внешнего облучения человека и формируется под действием нескольких факторов. На ее численное значение влияют:

- содержание естественных радионуклидов в почве (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra);
- вторичное космическое излучение;
- солнечная активность;
- содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов;
- радиоактивные эманации из почвы.

Поэтому численное значение МЭДГ зависит не только от радиоактивного загрязнения почв, но и от ряда природных факторов и погодных условий.

Для сравнения на рис. 2 приведена зависимость МЭДГ в этом же временном интервале для России. Интервалы, в которых происходят изменения, и ход кривых несущественно отличаются друг от друга.

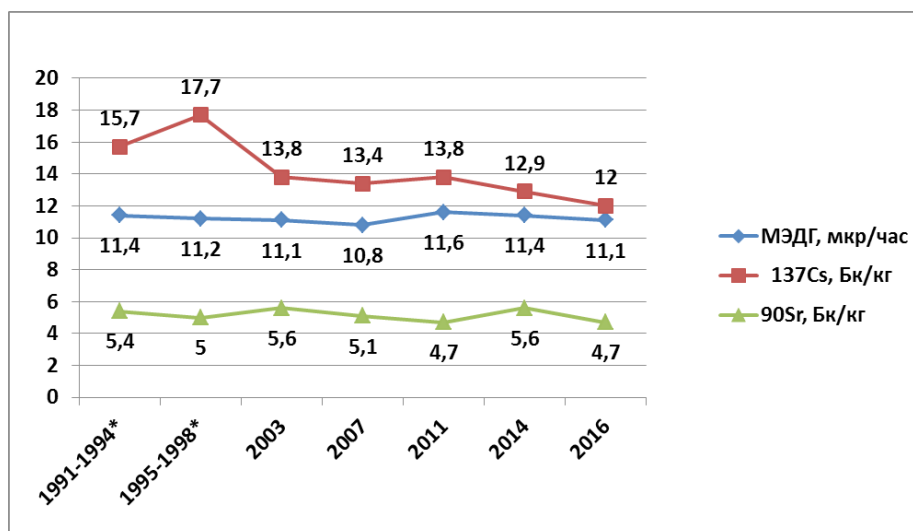


Рис. 2. Мощность экспозиционной дозы и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве сельскохозяйственных угодий России в целом (при расчетах кривых в совокупность анализируемых результатов не включены данные по загрязнению ^{137}Cs и ^{90}Sr почв Брянской, Тульской, Калужской и Орловской областей, подвергшихся интенсивному загрязнению от Чернобыльской аварии)

Интервал, в котором происходит изменение содержания ^{137}Cs в почвах Сибири с 1992 по 2016 г., составляет 6–8 Бк/кг, а в целом по России 12–18 Бк/кг. При этом ход кривых для Сибири и России практически не различается, в обоих случаях наблюдается максимум в 1992–1994 гг. и 2011 г. Максимум 2011 г. связан с аварией на АЭС «Фукусима», поэтому на сибирских почвах он более отчетливо виден по сравнению с почвами России в целом.

Как отмечалось ранее [5, 6], наряду с загрязнением вследствие выпадения из радиоактивных облаков существует процесс техногенного воздействия из верхних слоев атмосферы, который обуславливает относительно равномерное загрязнение почвы, уровень которого по данному механизму на 1–2 порядка ниже по сравнению с загрязнением из радиоактивного облака, но при этом он охватывает большие территории.

Содержание ^{90}Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири с 1992 по 2016 г. изменяется в интервале 3–4 Бк/кг, для России эта величина находится в интервале 4–6 Бк/кг. Ход кривых временных изменений содержания ^{90}Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири и России достаточно хорошо согласован между собой.

Загрязнение почвы Сибири техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr ниже по сравнению с сельскохозяйственными угодьями России. Радиоактивные выпадения от Чернобыльской аварии практически не затронули Сибирь.

В табл. 3 представлены результаты локального мониторинга (2014, 2016 гг.) по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции, производимой на сельскохозяйственных угодьях Сибири и России. Расчеты проведены по методике В.Г. Сычева и др. [4]. Статистические данные получены с уровнем доверия 0,95.

Таблица 3

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции по данным локального мониторинга (2014, 2016 гг.)

Территория	Содержание, Бк/кг (среднее значение/верхняя граница)							
	пшеница, зерно		естественные и многолетние травы				картофель, клубни	
			сено		зеленая масса			
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Сибирь	2,1/4,6	2,4/5,9	5,6/12,5	4,7/11,6	3,2/7,6	5,2/13,5	4,2/10	3,7/8,7
Россия	3,5/11	2,4/6,9	10/29	5/12	5/16	5/14	7/22	4/9

Загрязнение ^{137}Cs растениеводческой продукции Сибири ниже, чем в среднем по России (среднее значение – в 1,6–1,8, верхняя граница – в 2,1–2,3 раза). Уровни загрязнения ^{90}Sr растениеводческой продукции для России и Сибири практически совпадают. Пониженное содержание ^{137}Cs в сельскохозяйственных растениях Сибири обусловлено удаленностью региона от Чернобыля. Следует ожидать, что в будущем содержание указанных радионуклидов в растениеводческой продукции Сибирского региона будет снижаться медленнее, чем аналогичные показатели в среднем по России.

Основной вклад в формирование годовой эффективной дозы облучения человека для Сибири вносят естественные радионуклиды, содержание которых в почве формирует естественный радиационный фон и является основой для расчета средних годовых доз облучения населения.

В табл. 4 приведены средние значения и стандартные интервалы содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах субъектов Сибирского региона, Сибири, России [7] и мира [8]. Статистические оценки проведены с уровнем доверия 0,95. Максимальное содержание ^{226}Ra наблюдается в почве сельскохозяйственных угодий Омской области (50 Бк/кг – среднее, 67 Бк/кг – верхняя граница). В целом по Сибири содержание ^{226}Ra находится в интервале 15–37 Бк/кг со средним значением 26 Бк/кг, что несколько больше, чем аналогичные данные по России. Превышение незначительно и не может вносить существенного вклада в формирование годовой эквивалентной дозы облучения населения Сибири от источников естественной радиации (в том числе и для жителей Омской области).

Максимальное содержание ^{232}Th наблюдается в почве Омской области (среднее – 46 Бк/кг, верхняя граница – 53 Бк/кг). Эти значения также несущественно превышают среднестатистические российские показатели. Содержание ^{232}Th в почвах Сибири соответствует таковому в почвах России.

Таблица 4

Содержание ЕРН в почвах Сибири, России и мира Бк/кг

Субъекты РФ (количество участков)	²²⁶ Ra		²³² Th		⁴⁰ K	
	среднее	стандартный интервал	среднее	стандартный интервал	среднее	стандартный интервал
Алтайский край (84)	23	15–31	28	20–36	570	490–650
Кемеровская область (21)	25	17–33	28	24–32	380	340–420
Красноярский край (52)	15	7–23	33	21–45	450	320–570
Новосибирская область (18)	32	20–44	29	20–38	470	390–550
Омская область (20)	50	33–67	46	39–53	550	440–660
Республика Тыва (22)	15	10–20	22	18–26	470	400–540
Тюменская область (19)	27	22–32	23	16–30	360	250–470
Республика Хакасия (19)	25	18–32	26	19–33	520	420–620
Сибирь в целом	26±4	15–37	29±3	21–37	470±30	390–550
Россия (1100)	22	11–33	28	16–40	460	280–640
По миру	26	11–52	28	17–40	460	270–630

Содержание ⁴⁰K целиком и полностью определяется присутствием стабильного калия в почве. В окружающей природной среде ⁴⁰K находится в равновесии с химическим элементом. Внесение калийных удобрений увеличивает количество ⁴⁰K, в то же время калий выносятся из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур. В целом содержание ⁴⁰K в почвах Сибири соответствует его содержанию в почвах России и мира. Максимальные показатели наблюдаются на Алтае, а минимальные – в Тюменской области. Содержание ⁴⁰K в почвах нормами радиационной безопасности не регламентируется.

Сельскохозяйственное производство в Сибири наиболее развито в южных её районах. Центральная и северная Сибирь занята тайгой, лесотундрой и тундрой. Поэтому полученные нами данные характеризуют радиационную обстановку юга Сибири.

Приведенные результаты современных исследований загрязнения долгоживущими техногенными ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и естественными ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th радионуклидами почв сельскохозяйственных угодий Сибири показали, что при производстве сельскохозяйственной продукции на обширных площадях региона с применением минеральных удобрений и химических мелиорантов риск получения загрязненной продукции маловероятен. В сравнении с почвами сельскохозяйственных угодий России загрязнение почв Сибири техногенными радионуклидами ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr значительно ниже. Радиоактивные выпадения от Чернобыльской аварии практически не затронули Сибирь. За время наблюдения (1992–2016 гг.) радиационная ситуация в почвах на сельскохозяйственных угодьях Сибирского региона оставалась стабильной, благополучной и значительно лучше, чем в целом по России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия- Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – М.; Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА- Природа, 2009. – 140 с.
2. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu / под ред. С.М. Вакуловского. – Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 2015. – 225 с.
3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1993 году»: утв. Постановлением Правительства РФ от 24.01.1993. № 53. – М., 1993. – С. 64–69.
4. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв / В.Г. Сычев, М.И. Лунев, М.М. Орлов, Н.М. Белоус. – М.: ВНИИА, 2016. – 183 с.
5. Орлов П. М., Аканова Н. И., Шханацев А. К. Радиохимические и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв. //Междунар. с. – х. журн. – 2017. – № 2. – С. 42–46.

6. Орлов П. М., Аканова Н. И. Современная оценка последствий радиоактивного загрязнения почв и растений // *Агрохимия*. – 2018. – № 1. – С. 83–90.
7. Орлов П. М., Лунев М. И., Сычев В. Г. Радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. – М.: ВНИИА, 2015. – 175 с.
8. *Источники и действие ионизирующей радиации* / Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации // Докл. за 1977 г. Генеральной Ассамблеи с приложениями. – Нью-Йорк, 1978. – Т. 1. – С. 233–260.

REFERENCES

1. Atlas of modern and forward-looking aspects of the effects of the Chernobyl accident on the affected areas of Belarus and Russia (ASPA Russia-Belarus). Ya. Israël and I.m. Bogdevicha. – Moscow-Minsk: Foundation «Infosphere»-NIA-nature, 2009. – P. 140.
2. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239} + ^{240}\text{Pu}$. / Edited by S. M. Vakulovtch. Obninsk, fsbi «RPA «Typhoon», 2015 – P. 225
3. State report «on the state of the environment of the Russian Federation in 1993». – P. 64–69. Approved. Decreed. Rights». Of the Russian Federation dated 24.01. 93 g. № 53.
4. Sychev V.G. Lunev M.I., Orlov P.M. Belous N.M. Chernobyl: radiation monitoring of agricultural lands and agrochemical aspects of reduction of consequences of radioactive contamination of soils. – Moscow: VNIIA. 2016–183 p.
5. Orlov, P. M., Akanova N.I., Shhapacev A.K. Radiochemical and agrochimica-cal aspects of the management of the consequences of radioactive contamination of soils. // *International agricultural journal*. – 2017. – № 2, – P. 42–46.
6. Orlov P.M. Akanova N.I. Modern assessment of the effects of radioactive contamination of soils and plants// *Agrochemicals*, 2018, no. 1, p. 83–90.
7. Orlov P. Lunev M. I., Sychev V. G. Radiation monitoring of agricultural land in the Russian Federation. – М.: VNIIA. 2015–175 p.
8. Sources and effects of ionizing radiation. The United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Report for the year 1977 the General Assembly applications. Vol. 1, p. 233, p. 260. New York. 1978.