

Агрочоведение и агроэкология

УДК 614.876:631/635:631.95:631.4

DOI:10.31857/S2500262721030091

**РЕАБИЛИТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
ПРИ МАСШТАБНОМ РАДИОАКТИВНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ
(К 35-ЛЕТИЮ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС)****А.В. Панов**, доктор биологических наук, **А.Н. Ратников**, доктор сельскохозяйственных наук,
Д.Г. Свириденко, кандидат биологических наук, **Н.Н. Исамов**, кандидат биологических наук,
П.Н. Цыгвинцев, кандидат биологических наук*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
249032, Обнинск, Калужская обл., Киевское ш., 109 км
E-mail: riar@mail.ru*

Цель работы – обобщение 35-летнего опыта реабилитации сельскохозяйственных земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В России площадь сельскохозяйственных угодий, загрязненных основным радиологически значимым радионуклидом ^{137}Cs , составила 2,3 млн га, преимущественно на территориях Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. На сегодняшний день в результате распада ^{137}Cs площадь радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель в наиболее пострадавших от аварии областях сократилась в среднем на 65 %. Снижение плотностей загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий до уровня менее 37 кБк/м² (1 Ки/км²) в Калужской, Орловской и Тульской областях произойдет к 2090 г., в Брянской области – не ранее 2180 г. Представлены периодизация и отличия в объемах применения организационных, агротехнических и агрохимических защитных мероприятий в сельском хозяйстве по зонам радиоактивного загрязнения. Внедрение научно-обоснованной системы защитных и реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве в значительной степени обеспечило возможность производства аграрной продукции, соответствующей радиологическим стандартам. Через 35 лет после аварии на ЧАЭС лишь в пяти юго-западных районах Брянской области отмечается превышение радиологических нормативов в части производимых кормов (4...15 % проб), молоке (4...8 %) и говядине (5...8 %). В наиболее критических хозяйствах превышение нормативов по содержанию ^{137}Cs в продукции животноводства будет наблюдаться минимум до 2030 г. Проблемы реабилитации сельского хозяйства после аварии на ЧАЭС носят длительный и комплексный характер, при их решении необходимо учитывать уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, почвенные характеристики земель, а также хозяйственные особенности территорий.

**AGRICULTURAL LAND REMEDIATION DURING LARGE SCALE
RADIOACTIVE CONTAMINATION
(TO THE 35th ANNIVERSARY OF THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT)****Panov A.V., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Isamov N.N., Tsygvintsev P.N.***Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Obninsk, Kaluzhskaya obl., Kievskoe sh., 109
E-mail: riar@mail.ru*

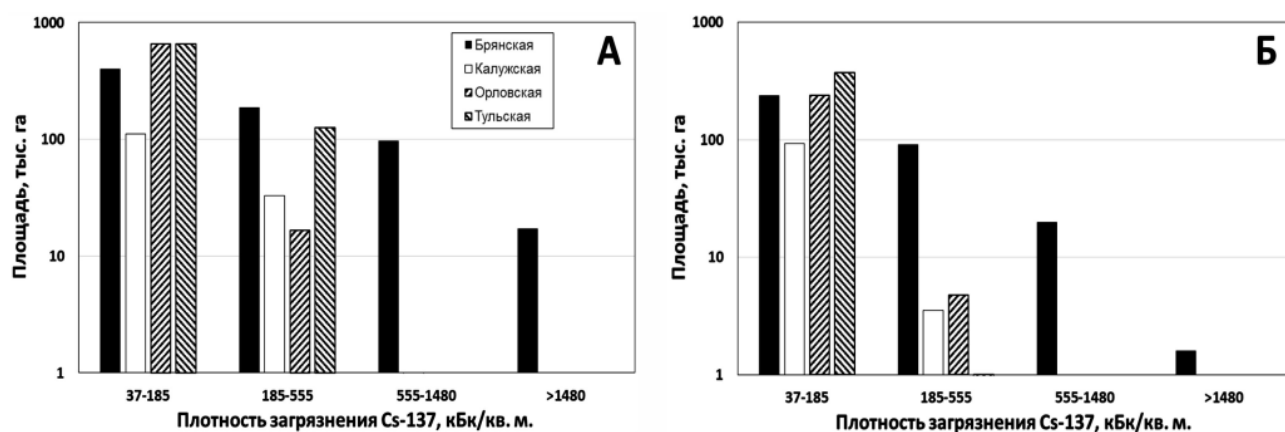
The aim of this article is to review of 35 years' experience in the remediation of agricultural lands exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident. In Russia, the area of agricultural land contaminated with the main radiologically significant radionuclide – ^{137}Cs amounted to 2.3 million hectares, mainly in the Bryansk, Kaluga, Tula and Oryol regions. To date, as a result of the ^{137}Cs decay, the area of radioactively contaminated agricultural land in the regions most affected by the accident has decreased by an average of 65 %. A decrease in the ^{137}Cs contamination density of agricultural land to a level of less than 37 kBq/m² (1 Ci/km²) in the Kaluga, Oryol and Tula regions will occur by 2090, in the Bryansk region – not earlier than 2180. The periodization and differences in the scope of organizational, agrotechnical and agrochemical countermeasures application in agriculture by zones of radioactive contamination are presented. The implementation of a scientifically based system of countermeasures in agriculture has largely contributed to the production of farm products that comply with radiological standards. 35 years after the Chernobyl NPP accident, only in five south-western districts of the Bryansk region exceeded the radiological standards in terms of produced feed (4...15 % of samples), milk (4...8 %) and beef (5...8 %). In the most critical farms, the ^{137}Cs content in livestock products will be exceeded at least until 2030. The problems of agricultural remediation after the Chernobyl NPP accident are of a long and complexity, in solving which it is necessary to take into account the levels of radioactive contamination of agricultural land, soil characteristics, as well as economic features of rural areas.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радиоактивное загрязнение, сельскохозяйственное производство, радиационный мониторинг и контроль, защитные мероприятия, реабилитация, прогнозирование

Key words: Chernobyl NPP accident, radioactive contamination, agribusiness, radiation monitoring and control, countermeasures, remediation, prognosis

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 г. – крупнейшая катастрофа в истории мировой ядерной энергетики. Она привела к масштабному радиоактивному загрязнению территории не только бывшего СССР (в наибольшей степени России, Украины и Беларуси), но и ряда государств Европы. В Российской Федерации площадь загрязнения ^{137}Cs (основным радиологически значимым радионуклидом) с

плотностью выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) составила 57,9 тыс. км² [1, 2, 3]. Наибольшие уровни радиоактивного загрязнения были зафиксированы в четырех областях: Брянской, Калужской, Тульской и Орловской [4]. Значительная часть загрязненных ^{137}Cs территорий относилась к землям сельскохозяйственного назначения, на которых велось активное агропромышленное производство [5, 6].



Динамика площадей сельскохозяйственных угодий 4-х областей России, загрязненных ¹³⁷Cs: А – 1987 г., Б – 2019 г. (по данным Брянского, Калужского, Тульского, Плавского, Орловского и Верховского центров химизации и сельскохозяйственной радиологии МСХ РФ)

Авария на ЧАЭС привела к очень тяжелым последствиям для сельского хозяйства в регионах с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. На отдельных территориях плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий ¹³⁷Cs была настолько высокой, что исключала возможность использования производимой продукции растениеводства и животноводства [5]. Помимо ¹³⁷Cs, большую роль в дозоформировании играли биологически подвижные ⁹⁰Sr и ¹³¹I (в первые недели после аварии), которые интенсивно мигрируют по сельскохозяйственным цепочкам. Важная характеристика территории, в наибольшей степени подвергшейся воздействию аварии на ЧАЭС, – почвенные условия. Так, на юго-западе Брянской области преобладают малоплодородные почвы (песчаные, супесчаные) с низкой сорбционной способностью, что повлияло на повышенную миграцию радионуклидов и их высокое накопление в сельскохозяйственной продукции. Кроме того, авария произошла в период, когда посев сельскохозяйственных культур практически завершился, а скот перевели на пастбища, в результате чего производимая продукция оказалась под значительным радиационным воздействием [6]. Учитывая перечисленные особенности, разработка и освоение научно-обоснованной системы защитных мероприятий в сельском хозяйстве после аварии на ЧАЭС стали одним из ключевых направлений реабилитации территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению [7, 8].

Цель работы – краткое обобщение опыта, накопленного при преодолении последствий аварии на ЧАЭС в агропромышленном комплексе, а также оценка современной радиационной ситуации в сельском хозяйстве на пострадавших от аварии территориях.

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель и продукции. В первые 3 года после аварии на ЧАЭС (1986–1989 гг.) радиологическими лабораториями агрохимической службы Минсельхоза была проведена масштабная работа по радиационному обследованию сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному воздействию и их детальному картированию [9]. На основе этих данных с учетом неоднородности загрязнения было принято решение о зональном подходе к ведению агропромышленного производства и разработке систем реабилитационных мероприятий для каждой зоны загрязнения. По плотности загрязнения ¹³⁷Cs выделили 4 зоны: 37...185 kBк/м² (1...5 Ки/км²), 185...555 (5...15), 555...1480 (15...40) и более 1480 kBк/м² (40 Ки/км²). Загрязнение ⁹⁰Sr на территории РСФСР

было незначительным и не потребовало разработки и применения специальных защитных мероприятий. В регионах Российской Федерации, пострадавших от последствий аварии на ЧАЭС, сельскохозяйственное производство осуществляли на площади 6,7 млн га, из которых 2,3 млн га оказались загрязнены ¹³⁷Cs с плотностью выше 37 kBк/м², в том числе на 79,2 % сельскохозяйственных угодий плотность загрязнения составляла 37...185 kBк/м²; 15,8 % – 185...555 kBк/м²; 4,3 % – 555...1480 kBк/м² [4, 9]. По уточненным результатам радиационного обследования площадь угодий с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs 185...555 kBк/м² достигала 550 тыс. га, 555...1480 kBк/м² – 210 тыс. га. Максимальной (более 1480 kBк/м²) она была в юго-западных районах Брянской области. Общая площадь земель с такой плотностью загрязнения составила 17,1 тыс. га, включая 7,3 тыс. га пашни и 9,8 тыс. га лугов и пастбищ. В других областях плотность загрязнения ¹³⁷Cs была значительно ниже [9]. За прошедшие после аварии на ЧАЭС 35 лет радиационная обстановка значительно улучшилась. В результате распада ¹³⁷Cs площадь загрязненных угодий в наиболее пострадавших от аварии областях сократилась более чем на 65 %, в том числе в Брянской области – на 40...91 % в различных зонах загрязнения, Калужской – на 17...89 %, Орловской – на 63...71 %, Тульской – на 43...99 % (см. рисунок).

На сегодняшний день высокие уровни радиоактивного загрязнения сохраняются только в пяти юго-западных районах Брянской области. По данным последнего тура (2015–2018 гг.) радиологического обследования ФГБУ «Брянскагрохимрадиология», в этих районах сельскохозяйственное производство осуществляют 135 хозяйств на площади 266,2 тыс. га. При этом плотность загрязнения ¹³⁷Cs более 37 kBк/м² отмечена на площади 244,8 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 37...185 kBк/м² – 136,7 тыс. га; 185...555 kBк/м² – 88,3 тыс. га и 555...1480 kBк/м² – 19,8 тыс. га. К категории незагрязненных земель (по ¹³⁷Cs менее 37 kBк/м²) можно отнести 21,4 тыс. га (8 %) сельскохозяйственных угодий этих районов [10]. По результатам прогноза радиологической ситуации в 4-х субъектах Федерации, которые в наибольшей степени пострадали от аварии, полное «очищение» почв сельскохозяйственных угодий до уровня менее 37 kBк/м² в Калужской, Орловской и Тульской областях возможно к 2090 г., в Брянской области – не ранее 2180 г. [11].

Уровень радиоактивного загрязнения сельскохозяй-

ственных угодий и их почвенные характеристики определяют степень накопления радионуклидов в аграрной продукции. В первые дни и месяцы после аварии основным источником загрязнения посевов сельскохозяйственных культур были сухие и влажные выпадения радионуклидов на поверхность растений. Начиная со второго года стал преобладать механизм корневого поступления радиоактивных веществ. Поэтому максимальный уровень удельной активности радионуклидов в сельскохозяйственной продукции на загрязненных территориях России наблюдали в первый год после аварии [6]. Например, в 1986 г., в пяти наиболее пострадавших районах Брянской области (Гордеевском, Климовском, Клинцовском, Красногорском и Новозыбковском) до 80 % произведенной продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства не соответствовало требованиям нормативов (ВДУ-86). В Калужской области (Жиздринский, Ульяновский и Хвостовичский районы) превышение допустимых норм фиксировали в 70 % выращенного зерна, в Тульской области (Плавский район) в 15 % аграрной продукции.

Начиная с 1987 г. удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции стала снижаться, что было обусловлено сорбцией радионуклидов в почве и их и распадом, а также активной реализацией защитных мероприятий [8, 12]. В Калужской области превышение нормативов по содержанию ^{137}Cs в продукции растениеводства фиксировали до 1988 г., в кормах животных – до 1995 г., в отдельных пробах естественного травостоя – до 2000 г. В Тульской области превышение нормативов в продукции растениеводства наблюдали только в 1987 г., а в Орловской области благодаря своевременным контрмерам вся производимая сельскохозяйственная продукция практически сразу полностью соответствовала нормативам. В Брянской области защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве применяли наиболее интенсивно. В результате их масштабного освоения уже к 1990 г. содержание ^{137}Cs в зерне и картофеле уменьшилось в 20...30 раз, в сене – до 5...6 раз. С 1995 г. из-за тяжелой экономической ситуации в стране реализация контрмер значительно сократилась, что привело к замедлению темпов снижения содержания ^{137}Cs в аграрной продукции [12, 13].

Радиационное обследование сельскохозяйственных угодий Тульской и Орловской областей показало низкую подвижность радионуклидов в сельскохозяйственных цепочках и их слабое накопление в продукции растениеводства и животноводства, что было обусловлено уровнем загрязнения агроэкосистем ^{137}Cs и преобладанием в почвенном покрове тяжелых по механическому составу почв. Применение агромелиорантов в земледелии на этих территориях основывалось на традиционных технологиях, обеспечивающих повышение урожайности возделываемых культур. В Калужской и в большей степени Брянской областях ситуация сложилась иначе. Эти регионы отличались более высоким уровнем загрязнения земель ^{137}Cs и повышенной миграцией радионуклидов из характерных для их территорий малоплодородных почв в сельскохозяйственные культуры.

В начале 90-х гг. наиболее сложной была ситуация с производством молока, соответствующего нормативам, в юго-западных районах Брянской области. Однако благодаря освоению в кормопроизводстве и животноводстве комплекса защитных мероприятий, производство несоответствующего нормативам молока к 1995 г. было сведено к минимуму [14]. Продукция

растениеводства (зерно, картофель), производящаяся в юго-западных районах Брянской области, отвечает радиологическим стандартам достаточно длительный период времени. Тем не менее, производство кормов и продукции животноводства, полностью удовлетворяющих радиологическим требованиям, на их территории не удалось обеспечить до сих пор. Так, доля сенажа и сена с превышением нормативов в 2017–2018 гг. составляла от 4 до 15 %. Особенно высокий переход ^{137}Cs в растения отмечается на торфяно-болотных почвах пойменных лугов. Вследствие высокого содержания радионуклида в вегетативной массе кормов на таких участках наблюдаются превышения санитарно-гигиенических нормативов по его концентрации в продукции животноводства: в молоке – до 4...8 % проб, в говядине – до 5...8 % проб [10]. По прогнозам в ряде хозяйств превышение нормативов будет носить долговременный характер – минимум до 2030 г. При этом установлено, что на одной административной территории уровни загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства в частном секторе выше, чем в аналогичной из товарных хозяйств. Это связано с тем, что для выпаса частных коров используют низкопродуктивные пастбища, что определяет более высокий переход ^{137}Cs из почвы в молоко. Кроме того, на таких угодьях, как правило, не применяют контрмеры в необходимых масштабах. Таким образом, потребность в реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель юго-западных районов Брянской области существует и будет сохраняться в долгосрочной перспективе.

Защитные мероприятия в сельском хозяйстве. Одним из ключевых направлений реабилитации территорий, пострадавших от аварии на ЧАЭС, стало восстановление радиоактивно загрязненных земель сельскохозяйственного назначения. Оно предусматривало систему организационных, агротехнических, агрохимических и мелиоративных мероприятий, направленных на обеспечение производства продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, и способствующих поддержанию почвенного плодородия [6]. Эффективность контрмер зависит от времени, прошедшего после аварии. Их реализация в первый период была наиболее эффективной и экономически оправданной. С течением времени эффективность технологий реабилитации снижается, а стоимость возрастает, что выдвигает на первый план вопросы оптимизации контрмер и определяет необходимость поиска новых способов и методов реабилитации [8, 15].

В первый период (1986 г.) после аварии на ЧАЭС решение об ограничительных защитных мероприятиях принимали на основе оценки радиационной обстановки (мощность экспозиционной дозы гамма-излучения) и информации об уровнях загрязнения ^{137}Cs продукции. Для прогнозирования и анализа текущей ситуации использовали опыт предыдущих аварий, в частности, на Южном Урале [5, 6].

Во второй период (1986–1987 гг.) проведение радиационного мониторинга позволяло собирать более детальную информацию о радиологической обстановке, включая радионуклидный состав выпадений, плотность загрязнения территории долгоживущими радионуклидами и уровень загрязнения сельскохозяйственной продукции. Разработку контрмер осуществляли не только на основе радиологической информации, но и с использованием сведений о характеристиках почвенного покрова, структуре землепользования, технологиях возделывания культур, показателях про-

изводственной деятельности. Защитные мероприятия для территорий с различной радиационной обстановкой проводили дифференцированно [16, 17].

В *третий период* (с 1987 г. и далее) после аварии основным источником поступления радионуклидов в сельскохозяйственные цепочки миграции стала почва. Поэтому важным фактором обоснования реабилитационных мероприятий стал учет влияния почвенно-климатических и геохимических особенностей загрязненных территорий, которые обуславливают различия в миграции радионуклидов. В рамках этого периода целесообразно выделить два этапа, первый из которых охватывает первые 5...10 лет после загрязнения, а второй связан с долговременными последствиями после аварии.

Для реабилитации сельскохозяйственных угодий в каждой из выделенных зон радиоактивного загрязнения был предложен и реализован комплекс оптимальных защитных мероприятий [8].

В *первой зоне* (плотность загрязнения ^{137}Cs 37...185 кБк/м²) сельскохозяйственные культуры возделывали по принятым в почвенно-климатической зоне технологиям и все работы в земледелии осуществляли без ограничений. Известкование кислых почв проводили в соответствии с планом, дозы извести устанавливали по величине гидrolитической кислотности. Удобрения вносили в дозах, обеспечивающих формирование стабильных урожаев. Коренное улучшение лугопастбищных угодий осуществляли только на торфяниках, которые характеризовались высокой степенью перехода радионуклидов в растительность.

Во *второй зоне* (плотность загрязнения ^{137}Cs 185...555 кБк/м²) растениеводство на пахотных угодьях вели без ограничений. Минеральные удобрения вносили в дозах, обеспечивающих формирование планируемых урожаев. При риске производства продукции с превышением нормативов увеличивали дозы фосфорно-калийных удобрений. Органические удобрения вносили после радиационного контроля. Мероприятия на пастбищах и сенокосах проводили в зависимости от типа почвы. На пойменных лугах и суходолах на суглинистых и глинистых почвах осуществляли поверхностное улучшение с внесением агромелиорантов и подсевом многолетних трав. Все естественные пастбища и сенокосы на торфяниках и легких почвах подлежали коренному улучшению с внесением повышенных в 1,5 раза доз калийных удобрений.

В *третьей зоне* (плотность загрязнения ^{137}Cs 555...1480 кБк/м²) ведение сельского хозяйства предполагало полномасштабные контрмеры, которые обеспечивали производство продукции, соответствующей радиологическим стандартам. В земледелии было рекомендовано использование извести и повышенных доз агромелиорантов. Известковые материалы вносили из расчета 1,5 дозы по гидrolитической кислотности. На сенокосах и пастбищах проводили коренное улучшение с ежегодным применением повышенных (в 1,5...2,0 раза) доз фосфорно-калийных удобрений. Органические удобрения вносили без ограничений.

В *четвертой зоне* (плотность загрязнения ^{137}Cs более 1480 кБк/м²) сельскохозяйственные угодья были выведены из хозяйственного оборота.

Таким образом, авария на Чернобыльской АЭС – первая и единственная в истории радиационная катастрофа, которая привела к радиоактивному загрязнению территорий многих стран, включая сельскохозяйственные угодья (в России более 2 млн. га). Основными радиологически значимыми радионуклидами в соста-

ве аварийных выпадений стали ^{131}I (в первые недели после аварии) и ^{137}Cs , а доминирующим путем их поступления в организм человека – животноводческая цепочка (в большей степени через молоко). Высокие уровни радиоактивного загрязнения, зафиксированные в юго-западных районах Брянской области, вызвали необходимость вывода части земель из хозяйственного оборота или введения ограничений на производство отдельных видов продукции. Ликвидация последствий аварии на ЧАЭС потребовала решения ряда фундаментальных проблем, связанных с изучением поведения радионуклидов в агроэкосистемах, освоением систем радиационного контроля и мониторинга радиологической обстановки, разработкой новых приемов реабилитации земель, обеспечивающих устойчивое развитие сельского хозяйства. Интенсивное применение защитных мероприятий и реабилитационных технологий во всех отраслях агропромышленного производства в значительной степени способствовало нормализации радиационной обстановки и снижению дозовых нагрузок на население, как в регионе аварии, так и за ее пределами. Наиболее эффективным оно было в первые годы после аварии, когда радионуклиды быстро мигрировали по сельскохозяйственным цепочкам. На сегодняшний день наиболее эффективны по радиологическому и социально-экономическому факторам технологии с долгосрочным действием: коренное улучшение лугопастбищных угодий и известкование кислых почв. Результаты радиационного мониторинга сельскохозяйственных земель и продукции на юго-западе Брянской области свидетельствуют о необходимости продолжения контроля радиационной обстановки на этих территориях и обоснования адресной системы реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве, способствующей скорейшему возвращению пострадавшего от аварии региона к нормальной жизнедеятельности.

Литература.

1. *Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. 1986. Т. 61. №5. С. 301–320.*
2. *Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.А. Израэль, В.А. Петров, С.И. Авдюшин и др. // Метеорология и гидрология. 1987. №2. С. 5–18.*
3. *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.*
4. *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 И.М. Богдевича. Москва-Минск: Фонд «Инфосфера»; НИИ-Природа, 2009. 140 с.*
5. *Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / под ред. акад. РАМН Л.А. Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.*
6. *Сельскохозяйственная радиэкология / под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992. 400 с.*
7. *Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Панов А.В. Реабилитационные мероприятия в агропромышленном комплексе как основа социально-экономического развития территорий, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник РАСХН. 2009. №6. С. 28–30.*

8. *Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве: к 30-летию аварии на ЧАЭС / Н.И. Санжарова, А.В. Панов, Н.Н. Исамов и др. // Агрехимический вестник. 2016. №2. С. 5–9.*
9. *Загрязнение почв Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Брянск, 1993. 67 с.*
10. *Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, П.В. Прудников, И.Е. Титов и др. // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. №1. С. 25–35.*
11. *Современное состояние и прогноз загрязнения ¹³⁷Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, Н.И. Санжарова, О.А. Шубина и др. // Радиация и риск. 2017. Т. 26. №3. С. 66–74.*
12. *30 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-2016. Российский национальный доклад / под общ. ред. В.А. Пучкова, Л.А. Большова. М.: МЧС России, 2016. 202 с.*
13. *Маркина З.Н., Курганов А.А., Воробьев Г.Т. Радиоактивное загрязнение продукции растениеводства Брянской области. Брянск: БГСХА, 1997. 241 с.*
14. *Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко М.: РАН, 2018. 278 с.*
15. *Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных радиоактивными веществами в результате крупных радиационных аварий: руководство / под ред. Н.И. Санжаровой. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2009. 150 с.*
16. *Влияние технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур на накопление ¹³⁷Cs в урожае / Т.Л. Жигарева, А.Н. Ратников, Р.М. Александрин и др. // Агрехимия. 2003. № 10. С. 67–74.*
17. *Радиационная оценка применения минеральных удобрений на естественных кормовых угодьях / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 1. С. 9–15.*

Поступила в редакцию 20.02.2021
После доработки 23.03.2021
Принята к публикации 30.04.2021