

УДК 504.5:628.4.047:633.2:581.526.45(282.247.321.7)(476.2)

## ДИНАМИКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛУГОВЫХ РАСТЕНИЙ В ПОЙМЕ Р. СОЖ

*Н. М. Дайнеко, кандидат биологических наук  
С. Ф. Тимофеев, кандидат сельскохозяйственных наук*

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,  
г. Гомель, Беларусь*

### Аннотация

Через 36 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС в слое почвы 0–10 см содержится 60–80 %  $^{137}\text{Cs}$ , в горизонте 10–20 см – от 3 до 30 %. Максимальное содержание радиоцезия в слое почвы 0–10 см – 4520 Бк/кг, минимальное – 495 Бк/кг; в слое почвы 10–20 см – соответственно 1040 Бк/кг и 44 Бк/кг. Наибольшая удельная активность отмечалась у горошка мышиного ( $2196 \pm 439$  Бк/кг), а наименьшая у василистника водосборолистного ( $96 \pm 66$  Бк/кг). Коэффициент накопления изменялся в широких пределах – от 0,05 Бк/кг: Бк/кг до 2,55 Бк/кг: Бк/кг.

**Ключевые слова:** луговые растения, радионуклиды, коэффициент накопления, удельная активность  $^{137}\text{Cs}$ , пойменный луг, слои почвы.

### Abstract

*N. M. Dajneko, S. F. Timofeev*

### DYNAMICS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF MEADOW PLANTS IN THE FLOODPLAIN OF THE SOZH RIVERT

After 36 years the disaster at the Chernobyl nuclear power plant, 60–80 % of radiocesium is contained in the soil layer of 0–10 cm, and 3–30 % is in the soil layer of 10–20 cm. The maximum content of radiocesium in the soil layer 0–10 cm is 4520 Bq/kg, the minimum is 495 Bq/kg. These parameters in the soil layer of 10–20 cm are 1040 Bq/kg and 44 Bq/kg, respectively. The highest specific activity was noted in the tufted vetch ( $2196 \pm 439$  Bq/kg) and the lowest in the columbine cornweed ( $96 \pm 66$  Bq/kg). The accumulation coefficient varied over a wide range 0.05–2.55 Bq/kg: Bq/kg.

**Keywords:** meadow plants, radionuclides, accumulation coefficient,  $^{137}\text{Cs}$  specific activity, floodplain meadow, soil layers.

### Введение

Пойменные луга – наиболее ценные естественные кормовые угодья. Значительные площади пойменных лугов имеются в пойме р. Сож, которые используются для сенокосения и выпаса скота. Существенное влияние на продуктивность и качество травяных кормов в условиях поймы оказывают ботанический состав луговых ассоциаций, тип почвы, хозяйственный режим использования, а также изменение климата. Выявлена существенная динамика луговых сообществ. В обилии отдельных видов луговых трав наблюдаются колебания, а также происходит смена субассоциаций и ассоциаций [1–3].

Важнейший параметр качества травяного корма – содержание радионуклидов, в связи

с чем после катастрофы на Чернобыльской АЭС основой для оценки радиологической ситуации в естественных экосистемах служат данные о загрязнении почвы и надземной фитомассы долгоживущими радионуклидами. Одним из наиболее загрязненных в Гомельской области оказался Ветковский р-н Гомельской обл., в том числе пойменные луга р. Сож. Несмотря на то что после катастрофы прошло почти 36 лет, по-прежнему актуальны как вопросы изучения радиоактивного загрязнения поймы реки, так и долгосрочный прогноз снижения плотности загрязнения почвы цезием-137.

Соответствующие работы продолжают проводить на территории и России, и Белару-

си. Например, выполнена оценка современной радиологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях в шести юго-западных районах Брянской обл., в наибольшей степени подвергшихся радиоактивному загрязнению; проведен долгосрочный прогноз изменения плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственных угодий.

После катастрофы на ЧАЭС результаты радиологического обследования земель стали

### Материалы и методы исследований

Для реализации поставленных задач почвенные пробы и растительные образцы надземной фитомассы луговых растений отбирали в вегетационный период 2022 г., в фазу колошения видов-доминантов на луговых сообществах двукисточника тростникового вблизи населенного пункта Шерстин Ветковского района.

Радиологический анализ почвенных проб и растительных образцов выполняли в Институте леса НАН Беларуси. Активность  $^{137}\text{Cs}$  измерялась радиометрическим методом с использованием бета-гамма-спектрометра МКС-АТ1315.

Объект исследований – почвенно-растительный покров пойменного луга р. Сож, который находится на ее правом берегу. Длина луга около 7 600 м; ширина в наиболее узкой части 300 м, наиболее широкой – около 2 900 м. Поперечный профиль луга имеет следующие параметры: высота надпойменной террасы 143 м, самое низкое место 114 м; перепад высот около 29 м; максимальный уклон на центральной пойме не превышает 3 %.

Территория н. п. Шерстин и его окрестностей находится в зоне с правом населения на отселение. Здесь плотность загрязнения почв радионуклидами цезия-137 – от 185 до 555 кБк/кв. м (от 5 до 15 Ки/кв. км); стронция-90 – от 18,5 до 74 кБк/кв. м (от 0,5 до 2 Ки/кв. км); плутония-238, -239, -240 – от 0,74 до 1,85 кБк/кв. м (от 0,02 до 0,05 Ки/кв. км); средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над уровнем естественного и техногенного фона) 1 мЗв [7].

Для оценки плотности радиоактивного загрязнения радиоцезия проводился отбор почвы по слоям 0–10 и 10–20 см соответственно.

базовой информацией при принятии решений по реабилитации загрязненных территорий [4, 5]. При планировании агропромышленного производства на них использовались методы прогнозирования уровней загрязнения радионуклидами сельскохозяйственных угодий [6].

Цель исследования – радиологическая оценка состояния некоторых луговых экосистем в пойме р. Сож Ветковского р-на через 36 лет после катастрофы на ЧАЭС.

Площадь пойменного луга в окрестностях н. п. Шерстин занимает около 600 га; ценные кормовые травы – небольшую площадь. На лугу преобладают осоки, малоценное разнотравье. Доля осок в составе осоковых сообществ составляет 78 %, злаков – 9,1, разнотравья – 12,9, а доля злаков в злаковых сообществах – 84, бобовых – 1, осок и разнотравья – 15 %.

Основные причины деградации луга обусловлены продолжительным, более чем 20-летним бессистемным (или свободным) стравливанием, полным отсутствием работ по уходу, а также влиянием неблагоприятных метеорологических условий. Кроме того, высокая кислотность почвы, низкая обеспеченность фосфором и калием привели к высоким уровням радиоактивного загрязнения травостоя.

Для решения поставленных задач выполнено типологическое районирование: весь луг был разбит на 3 контура.

Наиболее интенсивно, с ранней весны до поздней осени, использовался травостой контура I; он представлен притеррасной поймой и частью центральной поймы, прилегающей к притеррасной. Территория контура II не занята в кормопроизводстве из-за крайне низкого плодородия и влагообеспеченности, что связано с повышенным рельефом и намывными песками. Травостой контура III был в обращении во второй половине вегетационного периода, то есть после подсыхания поймы; представлен осоковыми и разнотравно-злаковыми сообществами.

При средней урожайности пойменного луга в 172 ц/га зеленой массы и при средней продолжительности стравливания примерно в 140 дней емкость пастбища составляет 2 голы на га.

## Результаты исследования и их обсуждение

Сообщества двукисточника тростникового размещаются преимущественно в прирусловой и центральной частях поймы, где занимают неширокие продолговатые понижения, которые периодически во время весеннего паводка покрываются слоем плодородного иллка. Обычно местоположения затопляются на длительный период с последующим медленным отступлением паводковых вод.

В почвенном покрове преобладают лугово-болотные почвы, реже встречаются дерновые глеевые. Почвы речной долины сильно кислые ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,2$ ) и имеют очень низкую обеспеченность подвижными элементами питания (подвижный калий = 69 мг/кг; подвижный фосфор = 83 мг/кг).

Плотность радиоактивного загрязнения на центральной пойме менялась в широких пределах и составляла от 3 до 19 Ки/кв. км. Такая пестрота радиоактивного загрязнения объясняется, безусловно, особенностями рельефа и продолжительностью затопления.

Рельеф центральной поймы характеризуется относительной выровненностью. На поверхности центральной поймы – большое количество небольших возвышенностей и впадин, с возвышенностей вещество смывается и откладывается в западинах.

В почвенном покрове установлена значительная вариабельность в содержании

радиоцезия (рис. 1). В слое почвы 0–10 см количество радионуклида от 495 до 4520 Бк/кг; различия составили 9 раз; среднее содержание  $2000 \pm 1114$  Бк/кг.

В слое 10–20 см содержание радионуклида зафиксировано в пределах от 44 до 1040 Бк/кг. Различия составляли 23 раза; среднее содержание  $452 \pm 347$  Бк/кг. Вариабельность в содержании радиоцезия в слое 10–20 см значительно больше, чем в слое 0–10. В слое 0–10 см содержание радионуклида в среднем больше (по сравнению со слоем 10–20 см) чем в 4 раза.

Для более корректной оценки распределения радиоцезия по слоям почвы сравнивались результаты исследований 2011-го и 2022-го гг.

Результаты анализа почвенных профилей в 2011 г. показали, что основное количество  $^{137}\text{Cs}$  (93–95 %) находилось в верхнем слое (то есть 0–10 см, в дернине).

Исследованиями установлено, что в 2022 г. более 70 % радионуклида продолжает оставаться в слое 0–10 см: существенной миграции радионуклида по профилю почвы не произошло, несмотря на постоянное затопление и подтопление. Это, безусловно, обусловлено тем, что верхний слой почвы сформирован дерниной, которую несколько десятилетий не нарушала почвообрабатывающая техника.

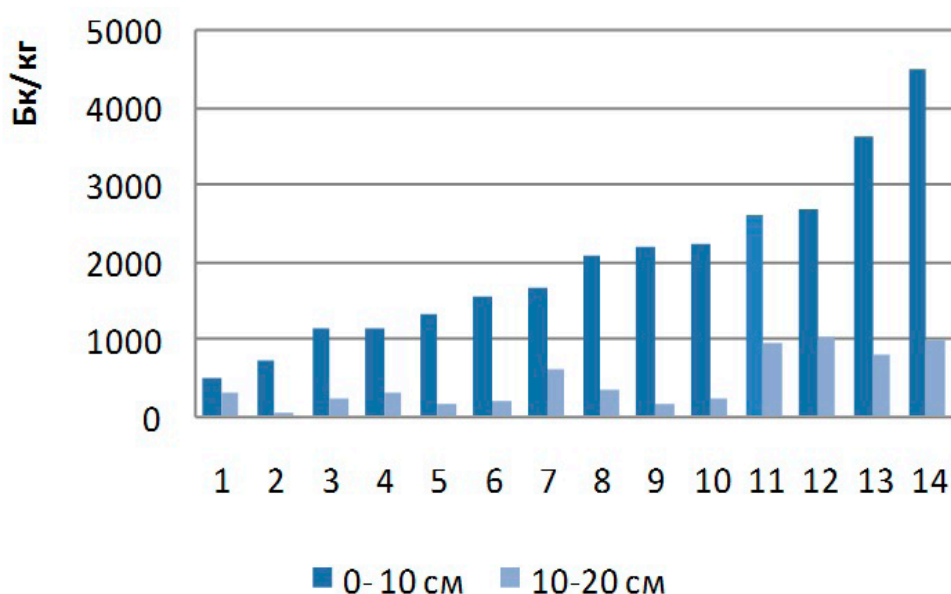


Рис. 1. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  по слоям почвы, Бк/кг (2022 г.)

Содержание в травостое радиоцезия в немалой степени зависит от биологической доступности радионуклида в почве. Этот параметр можно оценить путем использования различных экстрагентов. По нашим данным, в водную вытяжку переходит 0,6–1,2 %; в ацетатно-аммонийную 0,4–3,3; одномолярную соляную кислоту – около 0,5–1,8; шестимолярную соляную кислоту – около 11–49 % радионуклида. Результаты показали, что основная часть радионуклида прочно зафиксирована почвенным поглощающим комплексом [8].

Таким образом, основное количество радионуклида продолжает оставаться в верхних слоях почвы пойменных лугов, будучи прочно зафиксировано почвенным поглощающим комплексом.

Растительный покров на территории пойменного луга отличается крайней неоднородностью. Наиболее деградированным контуром является притеррасная пойма, так как ее травостой начинает стравливаться скотом сразу после схода воды, а затем используется и центральная пойма. Вследствие постоянного стравливания на пойменном лугу преобладают малоценные в кормовом отношении виды разнотравья и осоки.

По элементам рельефа средняя урожайность зеленой массы травостоя на понижениях составляла  $192 \pm 53$  ц/га, повышениях –  $152 \pm 32$  ц/га. Относительно небольшая уро-

жайность отмечалась на территории притеррасной поймы и надпойменной террасы.

Общее проективное покрытие составляло 80–100 %; высота травостоя 90–140 см. В нем с проективным покрытием 40–70 % доминирует двукисточник тростниковый. Также в травостое принимают участие мятлик болотный (5–7), манник большой (2–5), полевица ползучая (2–3 %). Выявлены такие виды, как лапчатка гусиная, лютик ползучий, манник наплывающий.

В зоне радиоактивного загрязнения наблюдается динамика уровней загрязнения надземной фитомассы. Установлено, что с течением времени содержание радиоцезия в травостое снижается. Так, по состоянию на 2011 г. содержание радиоцезия в травостое в пересчете на воздушно-сухое вещество составляло от 66 до 8 847 Бк/кг. В большинстве проб имело место превышение нормативов по данному показателю. В 2022 г. исследованиями выявлены лишь единичные факты превышения нормативов по содержанию радиоцезия в травостое. Аккумуляция радионуклида для осоки составляла 188–1020 Бк/кг, двукисточника 107–222 Бк/кг, разнотравья 96–849 Бк/кг. Высоким содержанием радиоцезия характеризовалась агроботаническая группа бобовых – горошек мышиный (максимальное содержание – 2196 Бк/кг, минимальное 1850 Бк/кг). Превышение нормативных значений отражено на рис. 2.

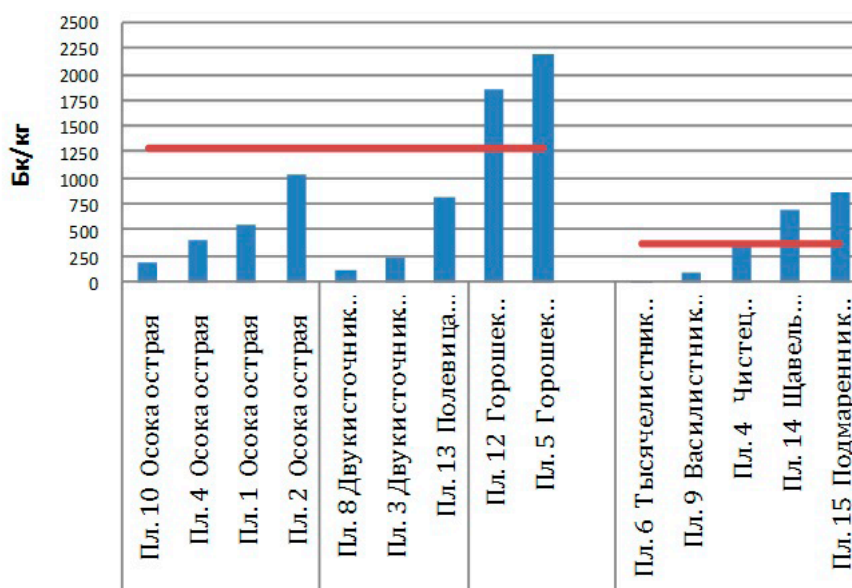


Рис. 2. Содержание радиоцезия в травостое луговых сообществ поймы р. Сож в окрестностях н. п. Шерстин Ветковского р-на

Анализ средней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в травостое агроботанических групп показал, что у злаков она составляет 383 Бк/кг, у осок – 541 Бк/кг, у разнотравья – 436,2 Бк/кг, бобовых – 2023 Бк/кг.

Рассматривая содержание радиоцезия в отдельных видах растений, входящих в агроботанические группы, можно отметить, что среди осоковых максимальная величина составляет 1020 Бк/кг, а минимальная – 188 Бк/кг (разница – 832 Бк/кг). У злаковых максимальное содержание обнаружено у полевицы тонкой – 820 Бк/кг, а минимальное – 107 Бк/кг (разница – 713 Бк/кг).

В группе разнотравья максимальное накопление радиоцезия обнаружено у подмаренника северного – 849 Бк/кг, а минимальное – у василистника водосборолистного – 965 Бк/кг; разница – 753 Бк/кг.

Для оценки и сравнения видов растений по накоплению радионуклида использовали значения коэффициента накопления (далее – КН), то есть отношения количества радионуклида в единице массы растения к количеству радионуклида в единице массы почвы; размерность Бк/кг:Бк/кг.

Значения КН отмечались в пределах 0,05–2,55 Бк/кг:Бк/кг (рис. 3). Условно можно

ранжировать виды растений по значениям КН на следующие группы.

Первая группа: 0,05 – 0,50 Бк/кг:Бк/кг; сюда входят 8 растительных образцов 6 видов (двуклесточник тростниковый, тысячелистник обыкновенный, осока острая, василистник водосборолистный, чистец болотный, полевица тонкая, двуклесточник тростниковый и осока острая).

Вторая группа: 0,51 – 1,00 Бк/кг:Бк/кг; в ее состав входит 4 растительных образца трех видов (осока острая, осока острая, щавель пирамидальный, подмаренник северный).

Третья группа: >1,00 Бк/кг:Бк/кг 2 растительные пробы горошка мышиного.

Таким образом, преобладающее количество видов имеют значения КН от 0,05 до 0,5 Бк/кг:Бк/кг.

В ходе исследований выявлены существенные различия по КН между агроботаническими группами растений. Так, для группы осок эти значения составляли 0,17–0,76; канареечника 0,05–0,33; разнотравья – 0,14–0,69 Бк/кг:Бк/кг.

Группа бобовых представлена одним видом, в связи с этим делать какие-либо выводы относительно этого представителя нецелесообразно.

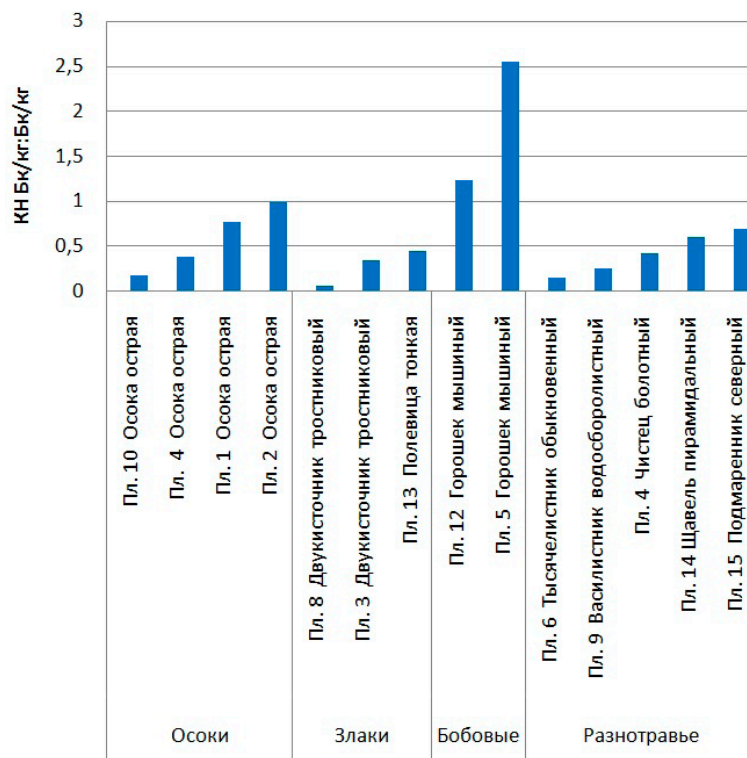


Рис. 3. Параметры коэффициента накопления в травостое луговых сообществ поймы р. Сож в окрестностях н. п. Шерстин Ветковского р-на

### Заключение

В результате исследований установлена значительная вариабельность радиоактивного загрязнения почвенного покрова. Особенно это проявляется в дифференциации радионуклида по слоям почвы, что связано с особенностями рельефа и гидрологическим режимом. За период 2011–2022 гг. уменьшилось количество радиоцезия в горизонте 0–10 см. В 2011 г. 93–95 %  $^{137}\text{Cs}$  находилось в этом верхнем слое, то есть в дернине. В 2022 г. более 70 % радионуклида продолжает оставаться в данном горизонте.

В слое почвы 0–10 см количество радионуклида за период 2011–2022 гг. изменялось от 495 до 4520 Бк/кг; разница составляла до 9 раз. Среднее содержание  $2000 \pm 1114$  Бк/кг. В горизонте 0–10 см содержание радионуклида в среднем было больше в 4 раза, чем в слое 10–20 см.

Существенной миграции радионуклида по профилю почвы не происходит, несмотря на постоянное затопление и подтопление. Полагаем, это связано с тем, что верхний слой почвы сформирован дерниной, которая несколько десятилетий не повреждалась почвообрабатывающей техникой.

Содержание радиоцезия в травостое в небольшой степени зависит от биологической доступности радионуклида в почве. Результаты исследований показали, что основная часть радионуклида прочно зафиксирована почвенным поглощающим комплексом.

В условиях радиоактивного загрязнения территории наблюдается динамика уровней загрязнения надземной фитомассы. С течением времени содержание радиоцезия в травостое снижается.

Проведенные исследования показали, что в 2011 г. содержание радиоцезия в травостое изменялось от 66 до 8847 Бк/кг. Анализ результатов 2022 г. выявил лишь единичные случаи превышения допустимых уровня радиоцезия в травостое. Аккумуляция радиоцезия для осочки составляла от 188 до 1020 Бк/кг, двукосточника 107–222 Бк/кг, разнотравья 96–849 Бк/кг, горошка мышиного 2 196 Бк/кг.

Выявлены существенные различия по КН между агроботаническими группами растений: для группы осок эти значения составляли 0,17–0,76; двукосточника 0,05–0,33; разнотравья 0,14–0,69 Бк/кг:Бк/кг.

**Рекомендации.** В связи с отсутствием пастбища и сенокосооборота при использовании пойменных лугов р. Сож, но преобладанием в большей степени бессистемного использования следует указать на внедрение в травостой малоценных в кормовом отношении видов. В этой связи необходимо регулировать использование этого луга, осуществлять двух-трехразовое стравливание в течение сезона или одно-двукратное скашивание травостоя в разные фазы развития луговых трав (в конце фазы трубкования – конце цветения), по возможности вносить полные минеральные удобрения.

### Библиографический список

1. Дайнеко, Н. М. Состав и структура пойменных лугов бассейна р. Сож : монография / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев. – Чернигов : Десна Полиграф, 2020. – 208 с.
2. Дайнеко, Н. М. Качество травяного корма при одноукосном использовании пойменного луга р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2021. – № 6. – С. 22–26.
3. Дайнеко, Н. М. Влияние метеорологических условий на динамику продуктивности луговых ассоциаций поймы р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Мелиорация. – 2022. – № 2. – С. 43–50.
4. Санжарова, Н. И. Методика прогнозирования уровней загрязнения почв сельскохозяйственных угодий, при которых обеспечивается получение нормативно чистых продуктов питания / Н.И. Санжарова [и др.]. – Обнинск : ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2007. – 17 с.
5. Шубина, О. А. Современное состояние сельскохозяйственных угодий, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС / О. А. Шубина, И. Е. Титов // Современные проблемы радиологии и агроэкологии, пути реабилитации техногенно-

загрязненных угодий : сб. докл. Междунар. конф, Обнинск, 15 дек. 2016 г. / Федер. гос. бюдж. науч. учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» ; сост. О. А. Шубина. – Обнинск, 2016. – С. 200–207.

6. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 142 с.

7. Социально-радиационный паспорт. Гомельская область. Ветковский район / РНИУП «Институт радиологии». – Гомель, 2018. – 29 с.

8. Формы нахождения Cs-137 и Sr-90 в почвах Брянской области / С. К. Лисин, Г. П. Смирская, Ю. Н. Смирский, Ю. Ф. Родионов, В. М. Шубко // Радиация и риск. – 1993. – Т. 3. – С. 129–133.

Поступила 28 февраля 2023 г.