

УДК 631.4:546.36

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-123-138



Ссылки для цитирования:

Силаев А.Л., Смольский Е.В., Сквоикова Л.Д. Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение в пойменных ландшафтах бассейна р. Сож // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 119. С. 123-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-123-138

Cite this article as:

Silaev A.L., Smolsky E.V., Skovikova L.D., Behavior of ^{137}Cs in the soil–plant system in the floodplain landscapes of the Sozh River basin, Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 119, pp. 123-138, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-123-138

Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение в пойменных ландшафтах бассейна р. Сож

© 2024 г. А. Л. Силаев*, Е. В. Смольский**, Л. Д. Сквоикова

Брянский ГАУ, Россия,

243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а,

**<https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, e-mail: kafeap@bgsha.com,*

***<https://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, e-mail: sev_84@mail.ru.*

*Поступила в редакцию 05.04.2023, после доработки 16.01.2024,
принята к публикации 04.06.2024*

Резюме: Исследования проводили в наиболее пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС части Брянской области в экосистеме пойм рек Ипуть, Беседь и Унеча, в разных по плотности загрязнения ^{137}Cs зонах. Цель работы – изучение особенности вертикального распределения ^{137}Cs в системе почва–растение пойменного ландшафта в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. В результате исследований выявили, что вертикальное распределение ^{137}Cs , в слое 0–20 см, определяется положением в рельефе и генезисом почв пойменных подсистем, и может быть равномерным, убывающим с глубиной, или с концентрированием в отдельных слоях. В пойменной экосистеме концентрация ^{137}Cs в слое 0–20 см возрастает от прирусловой к притеррасной подсистеме. В настоящее время использование территории запада Брянской области с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 555 кБк/м² в кормопроизводстве ограничено. Коэффициент перехода

^{137}Cs из почвы в растения снижается от центральной к прирусловой и притеррасной части поймы.

Ключевые слова: аллювиальная почва; пойменная экосистема; удельная активность ^{137}Cs ; естественный травостой; запад Брянской области.

Behavior of ^{137}Cs in the soil–plant system in the floodplain landscapes of the Sozh River basin

© 2024 A. L. Silaev*, E. V. Smolsky**, L. D. Skovikova

*Bryansk State Agrarian University,
2a Sovetskaya Str., Kokino 243365, Vygonichsky district,
Bryansk region, Russian Federation,*

**<https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, e-mail: kafep@bgsha.com,*

***<https://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, e-mail: sev_84@mail.ru.*

Received 05.04.2023, Revised 16.01.2024, Accepted 04.06.2024

Abstract: Studies were carried out in the most affected by the Chernobyl accident part of the Bryansk region, in the ecosystems of floodplains of the Iput, Besed and Unecha rivers, in zones with different ^{137}Cs pollution density. The purpose of the work is to study the peculiarities of the vertical distribution of ^{137}Cs in the soil–plant system of the floodplain landscape long after the Chernobyl accident. As a result of studies, it was revealed that the vertical distribution of ^{137}Cs , in the 0–20 cm layer, is determined by the position on the relief and the genesis of the soils of floodplain subsystems. The distribution character can be uniform, decreasing with depth, or with accumulation in certain layers. In the floodplain ecosystem, the concentration of ^{137}Cs in the 0–20 cm layer increases from the river channel to the terrace above floodplain subsystems. Currently, the use of the territory of the west of the Bryansk region with a ^{137}Cs pollution density above 555 kBq/m² in feed production is strictly limited. The coefficient of ^{137}Cs transition from soil to plants decreases from the central part to the near-channel one and to terrace above floodplain.

Keywords: alluvial soil; floodplain ecosystem; specific activity of ^{137}Cs ; natural herb; west of Bryansk region.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение радиационной безопасности территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, способствует экономическому развитию региона, возврату радиоактивно загрязненных естественных кормовых угодий в сельскохозяйственное производ-

ство. Эти факторы особенно важны в сложившихся условиях, когда в зонах радиоактивного загрязнения имеет место неблагоприятная демографическая ситуация (как в результате естественных причин, так и отрицательной миграции населения) и наличие негативных тенденций в экономике. В связи с этим проведение специальных защитных мероприятий остается крайне необходимой и эффективной мерой обеспечения населения нормативно чистыми продуктами питания (Сычев и др., 2016; Панов и др., 2019; Панов и др., 2021).

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная часть территории юго-запада России оказалась загрязненной радионуклидами, в том числе 491.4 тыс. га естественных сенокосов и пастбищ (Харкевич и др., 2011).

Трудности получения чистой животноводческой продукции на естественных кормовых угодьях обусловлены рядом причин. На лугах и пастбищах, где не проведено коренное улучшение, основная часть ^{137}Cs по-прежнему находится в дернине – в верхнем горизонте почвенного профиля. Кроме того, в дернине сосредоточена основная корневая масса вегетирующих растений, что обуславливает повышенное поглощение радионуклидов травостоем (Алексахин, Лунев, 2011; Белоус и др., 2016).

Несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки, до сих пор не удалось полностью решить проблему обеспечения безопасности населения, проживающего на загрязненных радиоактивными веществами территориях России. Наиболее критическими являются западные районы Брянской области (Белоус и др., 2011; Просянных и др., 2021).

В связи с этим выяснение особенностей поведения и концентрации радионуклидов в системе “почва–растение” является актуальным.

Цель исследования – изучить особенности вертикального распределения ^{137}Cs в системе почва–растение пойменного ландшафта в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2019–2022 гг. в целинных луговых сообществах пойменных ландшафтов рек Унеча, Ипуть и Бе-

сedy, расположенных в западных районах Брянской области, подвергшихся наибольшему радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 1).

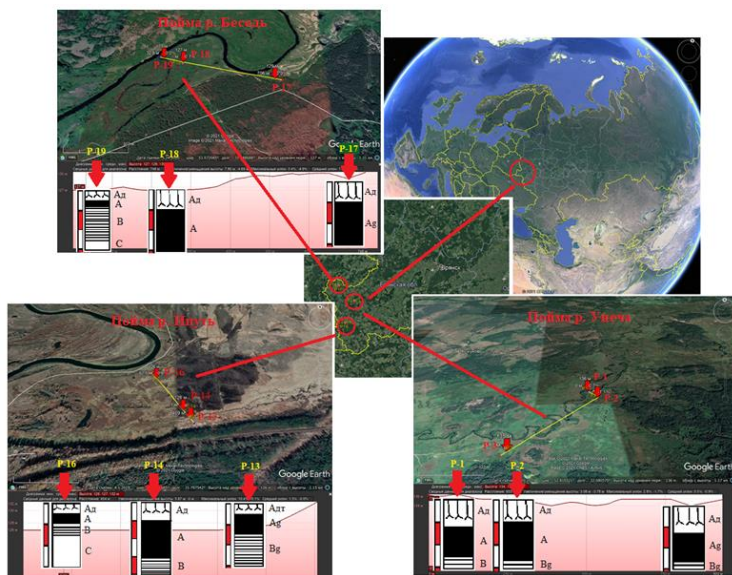


Рис. 1. Ключевые почвенные участки.

Fig. 1. Key soil areas.

Территории исследования находятся в разных зонах по плотности загрязнения ^{137}Cs (Атлас современных..., 2009):

- 185–555 кБк/м² – Клинцовский район, с. Лопатни, р. Унеча;
- 555–1480 кБк/м² – Новозыбковский район, с. Перевоз, р. Ипуть;
- более 1 480 кБк/м² – Красногорский район, с. Батуровка, р. Беседь.

Территория пойменного ландшафта представляет собой естественные сообщества растений и определенный набор природных условий (почвенный покров, тип водного питания (ТВП),

геоморфология, литология участка и т. п.). Различные сочетания подсистем образуют систему конкретной поймы, обуславливающую индивидуальные закономерности поступления, накопления, перемещения и преобразования радионуклидов.

Почвы пойменного ландшафта: прирусловая подсистема – аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная; центральная подсистема – аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная; притеррасная подсистема – аллювиальная лугово-болотная (Классификации и диагностика..., 1977), по Мировой базе почвенных ресурсов (WRB), им соответствуют Fluvisols (International soil..., 2014).

Отбор почвенных образцов для определения удельной активности ^{137}Cs проводили в разных подсистемах пойменного ландшафта методом почвенных ключей. Каждый ключевой почвенный участок представлял собой полнопрофильный разрез и четыре полуямы (рис. 1). Образцы отбирались со стенок разрезов через 5 см лопатой и почвенным ножом, перемешивались и усреднялись методом квартования. К анализам образцы подготавливали общепринятыми методами.

Плотность твердой фазы почвенных образцов по слоям в пределах почвенного профиля изменялась незначительно или средне, коэффициент вариации от 5.92 до 12.48% в зависимости от почвы.

Отбор растительных образцов (корни и надземная часть) естественного травостоя проводили сопряженно с отбором почвенных образцов с пяти учетных площадок. Рамку размером 0.25 м² накладывали на учетные площадки. Скошенную растительную массу с каждой учетной площадки немедленно взвешивали, брали средний результат. После соответствующей подготовки растительные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния.

Видовой состав растительности по пойменным подсистемам был представлен соответственно хозяйственно ценными растениями и разнотравьем:

– прирусловая пойма: лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa*), кострец безостый (*Bromopsis inermis*), мятлик болотный (*Poa palustris*) и ща-

вель пирамидальный (*Rumex thyrsiflorus*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), подорожник средний (*Plantago media*), лютик едкий (*Ranunculus acris*).

– центральная пойма: двукисточник тростниковидный (*Digraphis arundinacea*), манник водный (*Glyceria aquatica*) лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*) кострец безостый (*Bromopsis inermis*), осока лисья (*Carex vulpina*) и хвощ полевой (*Equisetum arvense*) и таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*).

– притеррасная пойма: осока лисья (*Carex vulpina*), осока пущыратая (*Carex vesicaria*), осока острая (*Carex acuta*) и хвощ полевой (*Equisetum arvense*) и дербенник иволистный (*Lythrum salicaria*).

Удельную активность ^{137}Cs в образцах определяли на УСК “Гамма Плюс” (Россия), ошибка измерений не превышала 10%, все измерения проводили в центре коллективного пользования научным оборудованием при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Коэффициент перехода ^{137}Cs рассчитывали как отношение удельной активности ^{137}Cs почвы к воздушно-сухой массе хозяйственно ценных растений (корни и надземная часть).

Коэффициент корневого барьера рассчитывали как отношение удельной активности ^{137}Cs в корнях к надземной части растения.

Допустимый уровень содержания ^{137}Cs в воздушно-сухой массе до 2017 г. регламентировали “Ветеринарные правила и нормы” ВП 13.5.13/09-00 (400 Бк/кг), а с 2017 г. – по Инструкции о радиологическом контроле качества кормов N13-7-2/216, допускается содержание ^{137}Cs в воздушно-сухой массе 600 Бк/кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Аллювиальные почвы по своим характеристикам и происхождению сильно различаются от почв водораздельных территорий, они занимают небольшие по площади территории, но в хозяйственной деятельности человека играют огромную роль (Балабко и др., 2016). В результате аварии на Чернобыльской АЭС и загрязнения территории запада Брянской области искусственными радионуклидами, часть пойменных лугов была исключена из кормопроизводства (Белоус, 2018).

Распределение и концентрация ^{137}Cs в почве подчиняются определенным тенденциям и закономерностям, которые определяются действием множества факторов, и проявляются в виде сложных и разнообразных биогеохимических процессов. Различия в водном режиме, растительности, рельефе, гранулометрическом и минералогическом составах и плодородии в подсистемах поймы обуславливают высокую вариабельность поведения ^{137}Cs в экосистеме (Пакшина и др., 2019).

Ландшафтно-гидрологические условия запада Брянской области по-разному действуют на распределение ^{137}Cs в профиле аллювиальных почв и удельную активность ^{137}Cs отдельных слоев почв. Максимальную удельную активность ^{137}Cs обнаружили в слое почвы 5–10 см (горизонт A_d) в притеррасной подсистеме поймы, в возрастающем по плотности загрязнения ^{137}Cs ряду пойм рек Унеча, Ипуть и Беседь она составила соответственно 3 953, 8 536 и 24 552 Бк/кг (табл. 1).

Это связано с расположением подсистемы в нижней точке рельефа по отношению к другим подсистемам и с высокой обводненностью данной территории. Далее с глубиной наблюдали снижение удельной активности ^{137}Cs слоев почв. В почве притеррасной подсистемы распределение имеет вид резко убывающей кривой, при этом часть радионуклида мигрировала в горизонт Bg.

Максимальная удельная активность ^{137}Cs в наиболее возвышенной на рельефе прирусловой подсистеме выявлена в пойме рек Унеча и Ипуть в слое 0–5 см (горизонт A_d) соответственно 1 147 и 3 704 Бк/кг, а в пойме реки Беседь в слое 5–10 см (горизонт A_d) – 4 605 Бк/кг. Наблюдали активную миграцию ^{137}Cs в горизонт В аллювиальных почв, и далее в горизонт С. По нашему мнению, легкий гранулометрический состав почв прирусловой подсистемы поймы и слаборазвитая корневая система естественного травостоя способствует данному явлению.

В наиболее ценной, с точки зрения кормопроизводства, центральной подсистеме максимальная удельная активность ^{137}Cs была в слое почвы 0–5 см (горизонт A_d) пойм рек Унеча и Беседь соответственно 2 626 и 10 980 Бк/кг, а в пойме реки Ипуть – в слое 5–10 см (горизонт A_d) – 2 712 Бк/кг.

Нами установлены сопоставимые максимумы удельной ак-

тивности ^{137}Cs в почвах центральной подсистемы пойм рек Унеча и Ипуть при различной плотности загрязнения ^{137}Cs территории, что, по-видимому, связано с хозяйственным выносом радионуклида с продукцией кормопроизводства в условиях поймы реки Ипуть.

Вертикальная миграция в почве центральной подсистемы поймы происходит медленнее, и говорить достоверно о наличии ^{137}Cs в горизонте Bg в настоящее время нельзя, учитывая незначительные значения удельной активности радионуклида (табл. 1).

Определили, что распределение ^{137}Cs в пойменном ландшафте имеет тренд к возрастанию концентрации радионуклида в слое 0–20 см от прирусловой к притеррасной подсистеме, исключение составила пойма р. Ипуть, что связано с высокой вовлеченностью данной территории в кормопроизводство (табл. 1).

Наибольшей информативностью в пойменной экосистеме обладает корнеобитаемый слой почв, свойства которого являются чувствительным индикатором техногенного загрязнения и показателем продуктивности пойм и качества получаемого корма.

Изучение распределения ^{137}Cs в почве необходимо для прогнозирования вероятности получения кормов в лугопастбищном хозяйстве с допустимым содержанием ^{137}Cs в них и составления модели миграции радионуклида по трофической цепи (Brechingnac et al., 2017; Fesenko et al., 2018).

По прошествии 36 лет после выпадения искусственных радионуклидов в результате аварии на ЧАЭС в корнеобитаемом слое 0–20 см находится наибольшее количество радионуклида ^{137}Cs , в прирусловой подсистеме в зависимости поймы реки от 91.0 до 96.1%, в центральной подсистеме – от 95.2 до 98.5%, в притеррасной подсистеме – от 92.2 до 99.8%, в нижележащих слоях от 20 до 60 см находилось от 1.5 до 9.0% ^{137}Cs от общего количества (рис. 2).

Анализируя распределение ^{137}Cs по слоям почв поймы реки Унеча, обнаружили, что в центральной пойме более 50% ^{137}Cs находилось в слое 0–5 см, в то время как в прирусловой пойме – 29%, а в притеррасной только 8.8%. По нашему мнению, это связано с различием в генезисе соответствующих почв.

Таблица 1. Удельная активность ^{137}Cs почв по слоям, Бк/кг
Table 1. Specific activity of ^{137}Cs soils by layers, Bq/kg

Слой почвы, см	Приустьевая подсистема		Центральная подсистема		Притеррасная подсистема	
пойма р. Унеча						
0–5	A _д	1 147	A _д	2 626	A _д	577
5–10	A ₁	1 101	A ₁	1 701		3 953
10–15	B	864		388	A _{1g}	992
15–20		487		215		736
20–25		200		84		148
25–30	C	83		2	B _g	53
30–35		55		2		38
35–40		13	1	C _g	12	
40–45		2	1		4	
45–50		3	2		4	
50–55		1	1		4	
55–60		1	2		1	
пойма р. Ипуть						
0–5	A _д	3 704	A _д	2 204	A _д	8 536
5–10	A ₁	3 282		2 712	A _{1g}	9 523
10–15	B	1 693	A ₁	667		5 592
15–20	C	350		285	B _g	4 560
20–25		240		63		27
25–30		71		19		6
30–35		30	4	1		
35–40		4.3	1	C _g	2	
40–45		11	1		2	
45–50		3	1		12	
50–55		2	1		4	
55–60		3	1		3	
пойма р. Беседь						
0–5	A _д	3 003	A _д	10 980	A _д	9 126
5–10		4 605		6 525		24 552
10–15	A ₁	3 493	A ₁	1 241	A _{1g}	19 435
15–20		1 460		397		4 419
20–25		228		154		1 290
25–30	B	228	B _g	102	B _g	735
30–35		114		124		466
35–40		18		171		613
40–45	C	2	C _g	101	C _g	572
45–50		9		124		540
50–55		4		114		385
55–60		6		69		282

Высокая обводненность, легкий гранулометрический состав, слабо развитая корневая система травостоя снижают закрепление радионуклида в верхнем слое почвы 0–5 см.

В распределении ^{137}Cs по слоям почв поймы рек Ипуть и Беседь выявили аналогичные тенденции концентрации радионуклида, при этом нами установлено, что хозяйственная деятельность человека и состояние мелиорации конкретной поймы, являются действующими факторами в поведении ^{137}Cs экосистеме поймы (рис. 2).

Радиационная обстановка по истечению 36 лет после аварии на ЧАЭС стабилизировалась в результате проведения комплекса защитных мероприятий на территории выпадения черномыльских осадков. При этом на территории запада Брянской области, где плотность загрязнения ^{137}Cs выше 555 кБк/м², как показывают наши исследования, до сих пор остается риск получения кормов, не отвечающих допустимым уровням по содержанию ^{137}Cs в них.

Только в пойме реки Унеча (приустьевая и центральная подсистема) получены корма, соответствующие нормативу по допустимому содержанию ^{137}Cs в продукции кормопроизводства.

Переход ^{137}Cs из почвы в растения в пойменной экосистеме зависел от генезиса аллювиальной почвы, биологических особенностей растений естественного травостоя, а также от водного режима территории. Так наибольший (1.11–2.50) коэффициент перехода из почвы в корни растений был выявлен для условий центральной подсистемы пойм рек Унеча, Ипуть и Беседь, а наименьший (0.11–0.63) – для притеррасной подсистемы (табл. 2).

Установили увеличение коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в растение от центральной к приустьевой и притеррасной подсистемам пойм рек Унеча и Ипуть. Полученные корма в условиях притеррасной части поймы не соответствовали нормативу по допустимому содержанию ^{137}Cs даже спустя 36 лет после аварии на ЧАЭС. Использование приустьевой и центральной частей пойм в хозяйственной деятельности без применения защитных мероприятий возможно только в пойме реки Унеча.

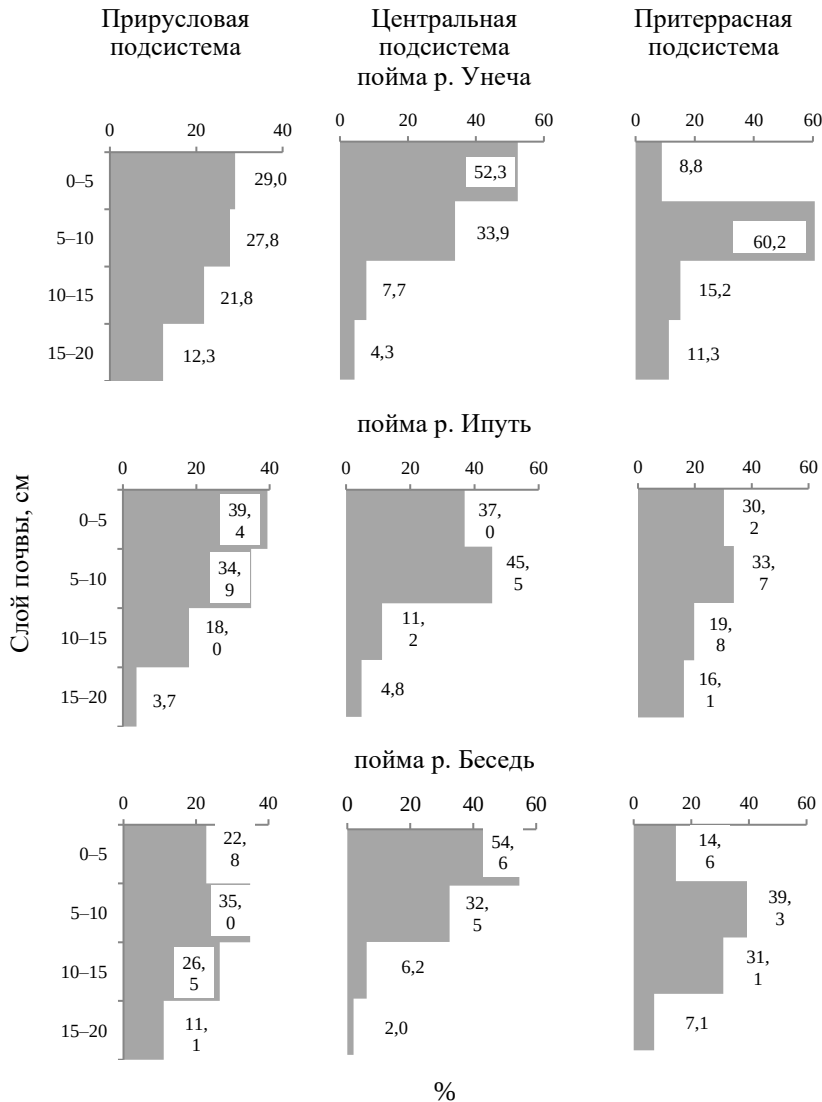


Рис. 2. Распределение ^{137}Cs по профилю аллювиальных почв, % от общего количества в слое 0–60 см.

Fig. 2. Distribution of ^{137}Cs along the alluvial soil profile, % of total quantity in 0–60 cm layer.

Таблица 2. Поведение ^{137}Cs в системе “почва–растение”
Table 2. ^{137}Cs behavior in the soil-plant system

Показатель		Приустьевая подсистема	Центральная подсистема	Притеррасная подсистема
пойма р. Унеча				
Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	почва (корнеобитаемый слой)	900	1 233	1 565
	корни растений	560	1 705	981
	надземная масса растений	501	580	968
Коэффициент перехода ^{137}Cs	почва → корни	0.62	1.38	0.63
	почва → корм	0.56	0.47	0.62
Коэффициент корневого барьера		1.12	2.94	1.01
пойма р. Ипуть				
Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	почва (корнеобитаемый слой)	2 257	1 467	7 053
	корни растений	2 594	3 664	2 448
	надземная масса растений	2 233	2 610	1 571
Коэффициент перехода ^{137}Cs	почва → корни	1.15	2.50	0.35
	почва → корм	0.99	1.78	0.22
Коэффициент корневого барьера		1.16	1.40	1.56
пойма р. Беседь				
Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	почва (корнеобитаемый слой)	3 140	4 785	14 383
	корни растений	2 448	5 315	1 511
	надземная масса растений	754	2 746	1 173
Коэффициент перехода ^{137}Cs	почва → корни	0.78	1.11	0.11
	почва → корм	0.24	0.57	0.08
Коэффициент корневого барьера		3.64	1.94	1.29

Анализ коэффициента корневого барьера (отношения удельной активности ^{137}Cs в корне к надземным органам) выявил барьерный тип накопления ^{137}Cs естественным травостоем ($\text{Ккб} > 1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вертикальное распределение ^{137}Cs может быть равномерно убывающим или с концентрированием в отдельных слоях на био-геохимических барьерах. В пойменной экосистеме концентрация ^{137}Cs в слое 0–20 см возрастает от приусловой подсистемы к притеррасной. В настоящее время использование территории запада Брянской области с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 555 кБк/м² в кормопроизводстве недопустимо, корма получаемые не соответствуют нормативам по допустимому содержанию ^{137}Cs . Коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в растения снижается от центральной части к приусловой и притеррасной частям поймы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексахин Р.М., Лунев М.И.* Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. № 3. С. 32–35.
2. 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”, НИА-Природа, 2009, 140 с.
3. *Балабко П.Н., Снег А.А., Локалина Т.В., Щедрин В.Н.* Почвы мелиорированной поймы верхнего течения реки Оки, используемые в интенсивном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 3. С. 116–137
4. *Белоус И.Н., Анишина Ю.А., Прищеп Д.Н., Смольский Е.В.* Эколого-экономическая эффективность применения минеральных удобрений на радиационно-загрязненных естественных лугах Брянской области // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 12. С. 43–46.
5. *Белоус Н.М.* Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдельный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1. С. 3–11.
6. *Белоус Н.М., Подоляк А.Г., Карпенко А.Ф., Смольский Е.В.* Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 4. С. 405–413.
7. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.

8. Пакишина С.М., Харкевич Л.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В. Закономерности миграции ^{137}Cs в аллювиальной почве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97. С. 165–180. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-97-165-180](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-165-180).
9. Панов А.В., Исамов Н.Н., Губарева О.С., Цыгвинцев П.Н., Ратников А.Н., Алешкина Е.Н. Технологии ведения животноводства при масштабном радиоактивном загрязнении (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 58–63.
10. Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ратников А.Н., Шубина О.А. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 1. С. 25–35.
11. Просянников Е.В., Зверева Л.А., Силаев А.Л. 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС – нужны ли реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях? // Радиация и риск. 2021. Т. 30. № 4. С. 131–142.
12. Сычев В.Г., Лунев В.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.
13. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ. Брянск, 2011. 211 с.
14. Brechignac F., Alexakhin R., Bollhöfer A., Frogg K.E., Hardeman F., Higley K., Hinton T.G., Kapustka L.A., Kuhne W., Leonard K., Masson O., Nanba K., Smith G., Smith K., Strand P., Vandenhove H., Yankovich T., Yoshida S. The iur forum: worldwide harmonisation of networks to support integration of scientific knowledge and consensus development in radioecology // Radiation Protection Dosimetry. 2017. Vol. 173. No. 1–3. P. 36–42.
15. Fesenko S., Isamov N., Howard B. J., Sanzharova N., Wells C. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues // Journal of Environmental Radioactivity. 2018. Vol. 192. P. 233–249.
16. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

REFERENCES

1. Aleksakhin R.M., Lunev M.I., Tehnogennoe zagryaznenie sel'skhozajstvennyh ugodij (issledovaniya, kontrol' i reabilitacija territorij) (Technogenic pollution of agricultural land (research, control and rehabilitation of territories)), *Plodorodie*, 2011, No. 3, pp. 32–35.
2. *Atlas sovremennyh i prognoznyh aspektov posledstvij avarii na CHernobyl'skoj AES na postradavshih territoriyah Rossii i Belarusi* (Atlas of modern and expected aspects of consequences of the Chernobyl accident in affected territories of Russia and Belarus), Moscow – Minsk, 2009, 140 p.
3. Balabko P.N., Sneg A.A., Lokalina T.V., Shchedrin V.N., Pochvy meliorirovannoj pojmy verhnego techeniya reki Oki, ispol'zuemye v intensivnom zemledelii (Soils of the melirated floodplain of the upper reaches of the Oka River, used in intensive agriculture), *Scientific journal of Russian Scientific Research Institute of land improvement problems*, 2016, No. 3, pp. 116–137.
4. Belous I.N., Anishina Yu.A., Prishchep D.N., Smolsky E.V., Ekologo-jekonomicheskaja jeffektivnost' primeneniya mineral'nyh udobrenij na radiacionno-zagryaznennyh estestvennyh lugah Brjanskoj oblasti (Ecological and economic efficiency of using mineral fertilizers in radiation-contaminated natural meadows of the Bryansk region), *Achievements in science and technology of the agro-industrial complex*, 2011, No. 12, pp. 43–46.
5. Belous N.M., Razvitie radioaktivno zagryaznennyh territorij Bryanskoj oblasti v otdalennyj period posle avarii na CHernobyl'skoj AES (Development of radioactively contaminated territories of the Bryansk region in a distant period after the Chernobyl accident), *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*, 2018, No. 1, pp. 3–11.
6. Belous N.M., Podolyak A.G., Karpenko A.F., Smolsky E.V., Effektivnost' zashchitnyh meropriyatij pri reabilitacii kormovyh ugodij Rossii i Belarusi, zagryaznennyh posle katastrofy na CHernobyl'skoj AES (Effectiveness of protective measures in the rehabilitation of the feed lands of Russia and Belarus contaminated after the Chernobyl disaster), *Radiation biology. Radioecology*, Vol. 56, No. 4, pp. 405–413.
7. *Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
8. Pakshina S.M., Harkevich L.P., Belous N.M., Smolsky E.V., Zakonomernosti migracii ^{137}Cs v alljuvial'noj pochve (Regularities of migration ^{137}Cs in the alluvial soil), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 97, pp. 165–180, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-97-165-180](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-165-180).
9. Panov A.V., Isamov N.N., Gubareva O.S., Tsygvintsev P.N., Ratnikov A.N., Aleshkina E.N., Tehnologii vedeniya zhivotnovodstva pri

masshtabnom radioaktivnom zagrjaznenii (k 35-letiju avarii na Chernobyl'skoj AJeS) (Technologies for animal husbandry in case of large-scale radioactive pollution (to the 35th anniversary of the Chernobyl accident), *Bulletin of Russian Agricultural Science*, 2021, No. 4. pp. 58–63.

10. Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov IE, Krechetnikov V.V., Ratnikov A.N., Shubina O.A., Radiojekologicheskaja ocenka sel'skohozjajstvennyh zemel' i produkcii jugo-zapadnyh rajonov Brjanskoj oblasti, zagrjaznennyh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AJeS (Radioecological assessment of agricultural land and products of the southwestern regions of the Bryansk region contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident), *Radiation hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 1. pp. 25–35.

11. Prosyannikov E.V., Zvereva L.A., Silaev A.L., 35 let posle avarii na Chernobyl'skoj AJeS – nuzhny li reabilitacionnye meroprijatija na sel'skohozjajstvennyh ugod'jah? (35 years after the Chernobyl accident - are rehabilitation measures needed on agricultural land?), *Radiation and risk*, 2021, Vol. 30, No. 4, pp. 131–142.

12. Sychev V.G., Lunev V.I., Orlov PM, Belous N.M., *Chernobyl': radiacionnyj monitoring sel'skohozjajstvennyh ugodij i agrohimicheskie aspekty snizhenija posledstvij radioaktivnogo zagrjaznenija pochv (k 30-letiju tehnogennoj avarii na Chernobyl'skoj AJeS)* (Chernobyl: radiation monitoring of agricultural land and agrochemical aspects of reducing the consequences of radioactive soil pollution (to the 30th anniversary of the man-made accident at the Chernobyl nuclear power plant)), Moscow: VNIIA, 2016, 184 p.

13. Kharkevich L.P., Belous I.N., Anishina Yu.A., *Reabilitacii radioaktivno zagrjaznjonnyh senokosov i pastbishh* (Reabilita of radioactively contaminated hayfields and pastures: monograph), Bryansk, 2011, 211 p.

14. Brechignac F., Alexakhin R., Bollhöfer A., Frogg K.E., Hardeman F., Higley K., Hinton T.G., Kapustka L.A., Kuhne W., Leonard K., Masson O., Nanba K., Smith G., Smith K., Strand P., Vandenhoove H., Yankovich T., Yoshida S., The iur forum: worldwide harmonisation of networks to support integration of scientific knowledge and consensus development in radioecology, *Radiation Protection Dosimetry*, 2017, Vol. 173, No. 1–3, pp. 36–42.

15. Fesenko S., Isamov N., Howard B. J., Sanzharova N., Wells C., Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues, *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, Vol. 192, pp. 233–249.

16. IUSS Working Group WRB. 2014. *World Reference Base for Soil Resources 2014*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.