

УДК 539.163:631.4:631.95:631.8

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ПЕРЕХОД $^{137}\text{Cs}$ В УРОЖАЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2020 г. Н. В. Андреева<sup>1,\*</sup>, Н. В. Белова<sup>1</sup>, В. К. Кузнецов<sup>1</sup>, В. П. Грунская<sup>2</sup><sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия<sup>2</sup> Тульский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Плавск, Россия

\*E-mail: nva2803@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.03.2019 г.

В длительных стационарных опытах изучена эффективность действия различных видов органических удобрений на дерново-подзолистой почве и выщелоченном черноземе, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  в результате аварии на ЧАЭС. Установлено, что применение подстилочного и бесподстилочного навоза, соломы, сидератов на дерново-подзолистой песчаной почве при раздельном и совместном внесении оказывало положительное влияние на показатели плодородия почвы и снижало биологическую подвижность  $^{137}\text{Cs}$ . Содержание обменных форм  $^{137}\text{Cs}$  в почве уменьшалось на 4.2% при запашке сидерата, в сочетании с соломой – на 4.1–4.3%, а при внесении соломы и сидерата на фоне навоза – на 5.8–8.0% по сравнению с контролем. Комплексное применение соломы и сидерата на фоне подстилочного навоза снижает накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя в 1.6–2.4 раза. Применение кислого среднеразложившегося торфа в дозе 30 т/га на фоне NPK на дерново-подзолистой песчаной почве способствовало повышению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне овса в 1.2–1.5 раза. Запашка сидератов бобовых культур на выщелоченном черноземе повышает накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе озимой пшеницы в 1.4–1.9 раза.

**Ключевые слова:** радионуклиды, органические удобрения,  $^{137}\text{Cs}$ , биологическая подвижность**DOI:** 10.31857/S086980312001004X

Сельскохозяйственная продукция, полученная на радиоактивно загрязненных угодьях, является основным источником поступления радионуклидов в рацион населения. После аварии на Чернобыльской АЭС агропромышленное производство накопило широкий спектр приемов, позволяющих существенно снизить уровни загрязнения получаемой продукции [1–3]. Вместе с тем снижение объемов применения минеральных удобрений, наблюдаемое в последние годы, вызывает необходимость поиска дополнительных средств поддержания почвенного плодородия. В системе мер по сохранению и повышению плодородия почв одним из таких приемов является насыщение севооборотов органическими удобрениями, в том числе за счет соломы зерновых культур, различных видов навоза, а также сидератов и торфа. Рациональное использование органических удобрений, пополняя запас элементов питания, способствует улучшению всех агрономически ценных показателей почвенного плодородия [4–6]. Внесение органических удобрений является также эффективным агроприемом по снижению поглощения радионуклидов растениями, уменьшая в большинстве случаев поступление  $^{137}\text{Cs}$  в урожай сельскохозяйственных культур в

1.5–3.0 раза, причем наибольший эффект отмечается на почвах легкого гранулометрического состава [7–10]. При этом органические удобрения оказывают как прямое, так и косвенное влияние на подвижность радионуклидов в системе почва–растение.

Прямое влияние заключается в образовании с радионуклидами различных по подвижности органо-минеральных комплексов, а также в увеличении обеспеченности элементами питания, емкости поглощения почв и закреплении радионуклидов в почвенно-поглощающем комплексе [11–13]. В связи с этим значительное влияние на процессы поведения радионуклидов в почве будут оказывать вид и качественный состав органических удобрений, состав гумусовых веществ органических удобрений, соотношение элементов питания и их доступность для растений, факторы, влияющие на процессы минерализации органического вещества.

Косвенное влияние на снижение поступления радионуклидов в растения обуславливается снижением удельной активности радионуклидов в урожае за счет эффекта “биологического разбавления” вследствие более интенсивного нараста-

ния биомассы и повышения урожайности сельскохозяйственный культуры [14, 15].

Целью работы являлась оценка воздействия различных видов органических удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными растениями и изменение основных параметров плодородия почв.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Полевые эксперименты проводили в различных почвенно-климатических условиях на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС [9, 11, 14].

Полевой стационарный опыт в Брянской области заложен в 1996 г. на Новозыбковской опытной станции в вариантах: 1. Контроль; 2. NPK; 3. Солома; 4. Солома + NPK; 5. Сидерат; 6. Сидерат + NPK; 7. Солома + сидерат; 8. Солома + сидерат + NPK, на фоне внесения подстилочного и бесподстилочного навоза в дозах, эквивалентных 80 т/га подстилочного навоза. Севооборот 4-польный: картофель, ячмень, овес, озимая рожь + редька масличная пожнивно. Солому озимой ржи в измельченном виде (9,2 т/га) и сидерат в виде зеленой массы редьки масличной (35 т/га) вносили непосредственно на месте произрастания этих культур. Все органические удобрения вносили под первую культуру севооборота – картофель. Под остальные культуры севооборота вносили минеральные удобрения общим фоном N90 под ячмень, P40K90 – овес и N90P60 – озимую рожь. На вариантах опыта с совместным применением органических и минеральных удобрений доза NPK была эквивалентна содержанию питательных веществ в 40 т/га подстилочного навоза.

Почва опытного участка дерново-подзолистая песчаная: содержание гумуса 1.9%;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5.9; гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований соответственно 1.6 и 4.7 мг-экв/100 г почвы; содержание подвижных форм фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) соответственно 325 и 130 мг/кг почвы. Плотность загрязнения опытного участка  $^{137}\text{Cs}$  составляла 510–590 кБк/м<sup>2</sup>. Исследования проводили на второй культуре севооборота – ячмене. Агрохимические показатели почвы, а также содержание подвижных форм радионуклида в почве определяли после уборки урожая.

Полевой эксперимент по оценке влияния торфа на подвижность  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение проводили в Хойникском районе Гомельской области Республики Беларусь. Опыт состоял из трех вариантов: 1) контроль (N70P70K70); 2) торф 30 т/га + N70P70K70; 3) торф 30 т/га + N210P210K210. Почва опытного участка дерново-подзолистая песчаная: содержание гумуса

2.4%;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5.3; гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований 3.4 и 3.7 мг-экв/100 г почвы соответственно; содержание подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 140 мг/кг и обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 86 мг/кг почвы. Плотность загрязнения опытного участка  $^{137}\text{Cs}$  составляла 650–700 кБк/м<sup>2</sup>.

Изучение влияния различных видов сидератов и соломы на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в урожае зерновых культур проводили в полевом стационарном опыте, заложенном в 2006 г. в Тульской области. В качестве сидеральных культур использовали клевер луговой, люпин и козлятник восточный, биомассу которых после скашивания запаховали при подготовке поля под озимые культуры, а солому зерновых культур использовали под следующую культуру.

Действие удобрений изучали в 8-польном севообороте: овес + козлятник, козлятник 1 г.п., козлятник 2 г.п., козлятник 3 г.п., козлятник 4 г.п., озимая пшеница, ячмень, люпин (горох, клевер красный), яровая пшеница на трех вариантах опыта: 1) контроль без удобрений, 2) N30-45P30K30, 3) N60-90P60K60. Почва опытного участка чернозем выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса 6.4%;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5.0; гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований 2.8 и 31.0 мг-экв/100г почвы соответственно; подвижный фосфор 132 мг/кг; обменный калий 146 мг/кг. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  составляла 190–210 кБк/м<sup>2</sup>.

Определение агрохимических характеристик проводилось общепринятыми методами:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – потенциометрически; гумус по Тюрину; гидролитическая кислотность по Каппену; сумма обменных оснований по Каппену–Гильковицу; подвижные формы  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  соответственно по Кирсанову и Масловой для дерново-подзолистых и по Чирикову – для черноземных почв [16].

Для определения форм нахождения  $^{137}\text{Cs}$  в почве использовали метод последовательной экстракции. В качестве экстрагентов для определения обменных форм  $^{137}\text{Cs}$  использовали раствор 1 н  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (pH 7.0), а форм  $^{137}\text{Cs}$ , прочно связанных с оксидами железа, алюминия и глинистыми минералами, – 1н HCl. Более фиксированные в почве формы  $^{137}\text{Cs}$  извлекали 3 н HCl [17].

Определение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в образцах почв, почвенных вытяжках и растениях проводили  $\gamma$ -спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе IN 1200 с германиевым детектором. Ошибка измерения не превышала  $\pm 10\%$ .

Содержание элементов питания в используемых органических удобрениях соответствовало среднему их содержанию в данных видах удобрений. Торф характеризовался кислой реакцией (pH 4.7), низким содержанием калия и фосфора,

**Таблица 1.** Характеристика органических удобрений  
**Table 1.** Characteristics of organic fertilizers

Вид удобрений	N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Зольность, %	Степень разложения, %
Навоз бесподстилочный	0.38 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.43 ± 0.01	—	—
Навоз подстилочный	0.32 ± 0.02	0.22 ± 0.01	0.25 ± 0.02	—	—
Солома	0.50 ± 0.03	0.31 ± 0.02	1.05 ± 0.02	—	—
Сидерат (редька масличная)	0.50 ± 0.02	1.10 ± 0.01	1.70 ± 0.03	—	—
Сидерат (клевер луговой)	1.10 ± 0.01	1.20 ± 0.02	1.80 ± 0.02	—	—
Сидерат (люпин)	1.30 ± 0.02	1.30 ± 0.02	1.90 ± 0.04	—	—
Торф низинный	2.10 ± 0.03	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.01	7.0 ± 0.2	42.0 ± 0.5

средней степени разложения и недостаточно высокой зольностью (табл. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ результатов исследований в полевом опыте в Брянской области показал, что на дерново-подзолистой песчаной почве внесение соломы, сидерата и их сочетаний, как на фоне навоза, так и без него, обуславливает в большинстве случаев достоверное по сравнению с контролем снижение кислотности почвенного раствора, повышение емкости поглощения, содержания гумуса и подвижных форм фосфора и калия (табл. 2). При этом внесение сидерата и комплексное использование сидерата и соломы оказывают более значимое положительное влияние на агрохимические показатели, чем применение только одной соломы. Так, запашка сидерата и сидерата с соломой повышали рН с 5.9 до 6.4–6.6, в то время как в варианте с соломой существенных изменений рН не наблюдалось. Емкость поглощения почвы возросла с 6.9 в контроле до 11.5–13.5 мг-экв/100 г при внесении сидерата и сочетании его с соломой, т.е. практически в 2 раза. В накоплении гумуса в почве в этих вариантах получена аналогичная закономерность.

Уровень накопления радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур зависит от комплекса факторов, в том числе и от их содержания в обменной форме. Проведенные исследования показали, что запашка соломы снижает подвижность <sup>137</sup>Cs — достоверное снижение содержания наиболее доступной для растений обменной формы радионуклида по сравнению с контролем составило 3.0%, подвижной формы (вытяжка 1 н HCl) — на 1.2%, прочно связанной (вытяжка 3 н HCl) — на 2.0% (табл. 3).

Эффективность заделки зеленого удобрения по влиянию на подвижность <sup>137</sup>Cs равнозначна по отношению к внесению соломы, а их комплексное применение снижает подвижность радионук-

лида на 4.1% или в 1.6 раза по сравнению с контролем.

Снижение биологической подвижности <sup>137</sup>Cs после применения органических удобрений может быть обусловлено изменением физико-химических характеристик почвы, в частности увеличением емкости поглощения (ЕКО) и содержания гумуса. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость между содержанием гумуса и обменной формы <sup>137</sup>Cs в почве — коэффициент корреляции Пирсона составил  $-0.81$  ( $t_r$  Стьюдента  $6.23 > t_{0.05} 2.10$ ).

Применение органических удобрений не только оптимизирует почвенные показатели, но и заметно снижает подвижность <sup>137</sup>Cs в системе почва—растение. Наиболее эффективным приемом по снижению накопления <sup>137</sup>Cs в урожае зерна ячменя оказалось внесение соломы, как отдельно, так и совместно с сидератом (рис. 1, А). При заделке одного сидерата наблюдалась тенденция к повышению перехода <sup>137</sup>Cs в растения. Раздельное применение навоза и соломы уменьшает поступление <sup>137</sup>Cs в зерно ячменя в 1.4–1.5 раза, причем подстилочный навоз был более эффективен, чем бесподстилочный. Максимальное снижение размеров накопления радионуклида в растениях наблюдалось при комплексном внесении соломы и сидерата на фоне подстилочного навоза — в 1.6–2.4 раза ниже, чем в контроле.

Дополнительное внесение полного минерального удобрения практически не меняет полученные закономерности по действию изучаемых видов органических удобрений на плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы и подвижность <sup>137</sup>Cs в почве, а накопление радионуклидов в урожае зерна снижается в 1.1 раза (рис. 1, Б).

Накопление радионуклидов в урожае растений может существенно зависеть от качества органических удобрений [18, 19]. Применение кислого среднеразложившегося торфа в дозе 30 т/га с фоновым внесением удобрений на дерново-подзолистой песчаной почве в 1.2–1.5 раза увеличи-

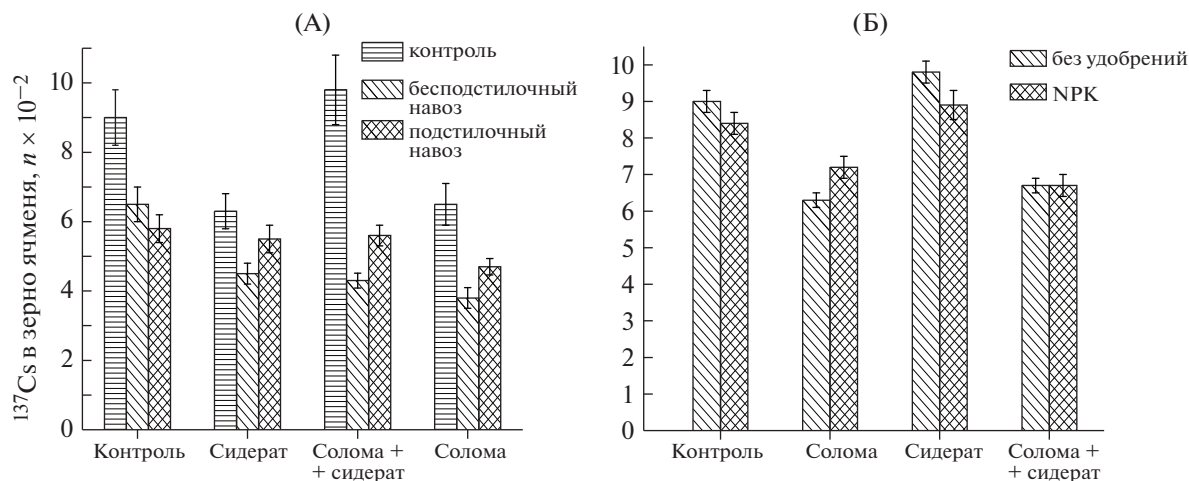
**Таблица 2.** Действие органических удобрений на основные показатели плодородия дерново-подзолистой песчаной почвы**Table 2.** The effect of organic fertilizers on the main indicators of fertility of sod-podzolic sandy soil

Вариант опыта	pH <sub>KCL</sub>	Гумус, %	ЕКО, мг-экв/100г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
Бесподстильный навоз					
Контроль	5.92 ± 0.03	2.02 ± 0.04	6.35 ± 0.05	325.4 ± 1.7	130.4 ± 3.3
	6.13 ± 0.01	2.44 ± 0.03	7.44 ± 0.02	365.7 ± 1.5	152.2 ± 3.1
Солома	5.95 ± 0.02	2.27 ± 0.02	7.03 ± 0.02	290.5 ± 5.0	111.7 ± 2.2
	6.27 ± 0.01	2.74 ± 0.03	7.01 ± 0.01	375.3 ± 4.8	158.4 ± 3.1
Солома + сидерат	6.51 ± 0.03	3.83 ± 0.01	12.05 ± 0.04	365.8 ± 2.9	112.2 ± 1.9
	6.63 ± 0.01	3.62 ± 0.03	11.52 ± 0.01	430.6 ± 3.1	167.6 ± 2.1
Сидерат	6.44 ± 0.02	3.45 ± 0.04	10.15 ± 0.01	380.5 ± 3.8	107.3 ± 3.0
	6.47 ± 0.01	3.14 ± 0.01	7.83 ± 0.01	375.2 ± 6.2	170.4 ± 2.7
Подстильный навоз					
Контроль	6.11 ± 0.02	2.48 ± 0.02	7.54 ± 0.02	380.9 ± 2.8	118.2 ± 1.9
	6.35 ± 0.01	2.62 ± 0.02	8.32 ± 0.01	400.7 ± 3.1	135.4 ± 2.2
Солома	6.05 ± 0.03	2.64 ± 0.03	8.17 ± 0.03	365.2 ± 5.3	131.6 ± 4.1
	6.07 ± 0.04	2.73 ± 0.02	8.05 ± 0.01	340.4 ± 4.8	162.5 ± 4.7
Солома + сидерат	6.64 ± 0.01	4.24 ± 0.01	15.06 ± 0.02	340.6 ± 2.9	107.2 ± 3.6
	6.63 ± 0.02	4.41 ± 0.03	15.53 ± 0.03	380.1 ± 3.5	132.8 ± 2.9
Сидерат	6.37 ± 0.02	3.77 ± 0.01	13.07 ± 0.04	375.3 ± 4.4	106.9 ± 2.9
	6.32 ± 0.01	4.08 ± 0.03	11.94 ± 0.02	340.6 ± 4.3	131.4 ± 2.7

Примечание. В числителе – без внесения навоза, в знаменателе – при внесении 160 т/га навоза.

**Таблица 3.** Влияние органических удобрений на формы нахождения <sup>137</sup>Cs в почве**Table 3.** Influence of organic fertilizers on the forms of <sup>137</sup>Cs in soil

Вариант опыта	<sup>137</sup> Cs, % от суммарного количества			
	1 н AcNH <sub>4</sub>	1 н HCl	3 н HCl	фиксированный
Без внесения навоза				
Контроль	11.6 ± 1.3	8.3 ± 0.7	18.7 ± 1.1	61.4 ± 3.3
Солома	8.6 ± 0.7	7.1 ± 0.8	16.7 ± 1.2	67.6 ± 4.2
Солома + сидерат	7.5 ± 0.5	7.1 ± 0.4	14.8 ± 0.8	70.6 ± 5.3
Сидерат	8.2 ± 0.7	6.0 ± 0.5	16.1 ± 0.4	69.7 ± 7.4
Бесподстильный навоз				
Контроль	10.9 ± 1.2	9.1 ± 0.2	16.2 ± 0.3	63.8 ± 2.5
Солома	8.4 ± 1.5	8.2 ± 0.2	16.1 ± 0.3	67.3 ± 3.2
Солома + сидерат	7.0 ± 1.2	7.1 ± 0.3	15.3 ± 0.1	70.6 ± 2.2
Сидерат	8.2 ± 0.5	7.2 ± 0.1	16.5 ± 0.1	68.1 ± 4.3
Подстильный навоз				
Контроль	10.6 ± 0.2	6.4 ± 0.4	18.4 ± 2.1	64.6 ± 5.4
Солома	8.1 ± 0.2	5.6 ± 0.3	15.7 ± 2.3	70.6 ± 4.2
Солома + сидерат	7.0 ± 0.3	4.9 ± 0.3	14.0 ± 1.2	74.1 ± 5.2
Сидерат	6.5 ± 0.4	4.7 ± 0.3	13.7 ± 1.3	75.1 ± 6.2



**Рис. 1.** Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно ячменя в зависимости от применения различных видов органических удобрений при раздельном (А) и комплексном внесении с минеральными удобрениями (Б).

**Fig. 1.** Transfer factors (TF) of  $^{137}\text{Cs}$  from soil to barley grain depending on the application of different types of organic fertilizers for separate (A) and complex application with mineral fertilizers (B).

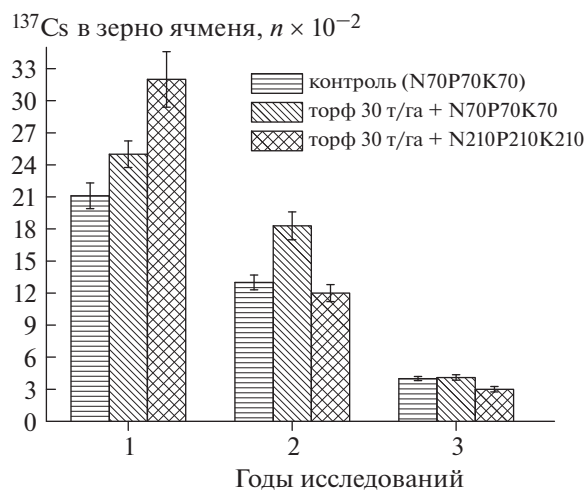
ваит накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне овса (рис. 2). Дополнительное внесение в вариантах с торфом повышенных доз полного минерального удобрения (N210P210K210) способствовало возрастанию накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае растений в 1.5 раза. На 2-й год после внесения торфа возрастающее влияние торфа на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в урожае овса в 1.3 раза сохранялось, однако на 3-й год исследований каких-либо достоверных различий между вариантами не наблюдалось (рис. 2).

Усиление биологической подвижности  $^{137}\text{Cs}$  при внесении торфа может быть обусловлено его специфическими свойствами и, в частности, повышенной кислотностью, образованием подвижных соединений с фульвокислотами торфа, эффектом физико-химической пассивации почвенных минералов, что препятствует прочному закреплению радионуклида в почвенно-поглощающем комплексе [18, 19].

Бобовые культуры, в силу своей уникальной способности фиксировать атмосферный азот и переводить его в доступные для растений формы, являются важным фактором интенсификации и экологизации земледелия. Являясь хорошими предшественниками, бобовые культуры могут накапливать в почве до 250–400 кг/га азота и, таким образом, полностью обеспечивают азотом последующую культуру севооборота, повышая урожайность без дополнительных затрат [20].

Установлено, что несбалансированно высокие дозы азотных удобрений в большинстве случаев способствуют повышению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях в 1.5–3.0 раза [21, 22]. О влиянии биологически связанного азота и различных видов сидератов из бобовых культур на биологическую

подвижность  $^{137}\text{Cs}$  в настоящее время нет единой точки зрения. Однако высокие дозы симбиотического азота и лабильные органические соединения, образующиеся в почвах после сидеральных культур, могут оказывать существенное влияние на поведение радионуклидов в системе почва–растение. Отмечается возрастание накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае сельскохозяйственных культур, размещенных в севообороте после многолетних бобовых трав или сидеральных культур [10, 11].



**Рис. 2.** Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне овса при внесении торфа и различных доз минеральных удобрений.

**Fig. 2.** Concentration ratio (CR) of accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in oat grain when applying peat and various doses of mineral fertilizers.

**Таблица 4.** Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в урожай зерновых культур при использовании различных видов сидератов (Бк/кг)/(кБк/м<sup>2</sup>),  $n \times 10^{-2}$   
**Table 4.** Transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  to the grain crops using different types of green manure,  $n \times 10^{-2}$

Вариант	2008 г.		2009 г.		2010 г.		20011 г.	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Озимая пшеница по козлятнику восточному после 4 лет пользования								
Контроль без сидератов	1.1 ± 0.2	1.8 ± 0.3	1.3 ± 0.2	2.0 ± 0.3	1.0 ± 0.1	1.6 ± 0.1	0.9 ± 0.3	1.7 ± 0.2
Контроль с сидератами	1.9 ± 0.3	3.1 ± 0.4	2.2 ± 0.4	3.3 ± 0.5	1.4 ± 0.2	3.1 ± 0.4	1.5 ± 0.3	2.8 ± 0.2
N90P60K60	3.0 ± 0.5	4.5 ± 0.7	3.5 ± 0.5	5.7 ± 0.8	2.6 ± 0.4	5.4 ± 0.6	2.5 ± 0.5	4.8 ± 0.5
Яровая пшеница по сидератам после 1 года пользования (2008 г – горох; 2009 г – люпин; 2010 г – клевер; 2011 – горох)								
Контроль без сидератов	1.0 ± 0.2	1.5 ± 0.2	1.1 ± 0.2	1.5 ± 0.3	1.2 ± 0.2	2.0 ± 0.2	1.2 ± 0.3	2.1 ± 0.2
Контроль с сидератами	1.5 ± 0.3	1.8 ± 0.3	1.7 ± 0.4	2.4 ± 0.5	1.6 ± 0.2	2.5 ± 0.3	1.7 ± 0.3	3.3 ± 0.4
N60P60K60	2.4 ± 0.4	2.3 ± 0.4	3.1 ± 0.5	4.5 ± 0.7	2.4 ± 0.4	3.2 ± 0.5	2.1 ± 0.3	4.6 ± 0.6
Ячмень по соломе яровой пшеницы								
Контроль без сидератов	0.9 ± 0.2	1.7 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.6 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.8 ± 0.4	1.3 ± 0.3	2.2 ± 0.4
Контроль с сидератами	0.8 ± 0.2	1.7 ± 0.3	0.9 ± 0.3	1.7 ± 0.3	1.0 ± 0.3	1.8 ± 0.3	0.9 ± 0.2	1.9 ± 0.2
N60P60K60	0.9 ± 0.3	2.0 ± 0.4	1.2 ± 0.1	1.9 ± 0.5	1.1 ± 0.3	2.0 ± 0.3	1.0 ± 0.2	1.9 ± 0.3

В Тульской области на выщелоченных черноземах в течение 4 лет проводились полевые исследования по оценке влияния раздельного и комплексного применения минеральных удобрений, сидератов и соломы на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе зерновых культур. При этом в различные годы изучались разные виды сидератов (клевер луговой, люпин, горох), которые выращивались в течение одного вегетационного периода и козлятник восточный, который возделывался в течение 4 лет.

Установлено, что многолетнее возделывание козлятника восточного и последующая его запашка в качестве сидерата во все годы исследований способствовали возрастанию накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне в 1.4–1.7 раза и 1.5–1.9 раза в соломе озимой пшеницы (табл. 4).

Дополнительное внесение небольших доз минеральных удобрений (N30-45P30K30) оказывало в большинстве случаев статистически незначительное воздействие на процессы накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае зерновых культур.

Применение повышенных доз минеральных удобрений (N60-90P60K60) практически во всех

случаях способствовало увеличению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе растений в 1.5–1.8 раза, что может быть связано с повышением содержания минерального азота в почве наряду с ранее накопленными запасами биологически фиксированного азота. Внесение минеральных удобрений в вариантах с использованием соломы не оказывало какого-либо значимого влияния на изменение накопления радионуклидов в урожае, что обусловлено, вероятно, дополнительным расходом накопленного и поступившего в почву азота на минерализацию соломы.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Систематическое применение органических удобрений способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы – увеличивает запас питательных веществ, уменьшает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглощательную способность и буферность почвы. Проведенные исследования показали, что на дерново-подзолистой песчаной почве применение соломы, сидерата и их сочетаний на фоне навоза и без него оказывает

значимое положительное влияние на агрохимические показатели: снижается кислотность почвенного раствора, повышается емкость поглощения на 2.0–9.2 мг-экв/100 г, содержание гумуса 0.9–2.0% и подвижных форм фосфора и калия в почве на 40–80 мг/кг и 20–30 мг/кг соответственно. Наиболее эффективным приемом является совместное применение соломы и сидерата на фоне внесения 80 т/га подстилочного навоза.

Изменение почвенных показателей явилось одной из основных причин снижения биологической подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в почве. При запашке соломы содержание наиболее доступной для растений обменной формы радионуклида уменьшалось на 3%, а в вариантах с комплексным применением соломы и сидерата – на 4.1% по сравнению с контролем.

Использование органических удобрений для ограничения поступления радионуклидов в сельскохозяйственные растения доказало свою практическую значимость. Под влиянием органических удобрений снижается подвижность  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение. Наиболее эффективным приемом является внесение соломы, как отдельно, так и совместно с сидератом на фоне применения навоза и минеральных удобрений.

Качество органических удобрений может оказывать значительное влияние на накопление радионуклидов в урожае растений. Зеленое удобрение (сидерат) обогащает почву органическим веществом, способствует накоплению азота, снижает кислотность, улучшает физические свойства, в результате усиливается биологическая активность почвы. Но в то же время усиление азотного режима почвы приводит к увеличению поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения. Применение кислого среднеразложившегося торфа на дерново-подзолистой песчаной почве способствует увеличению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях в 1.2–1.5 раза, а дополнительное внесение минеральных удобрений (N210P210K210) – в 1.5 раза. Возрастающее влияние торфа на накопление радионуклида в зерне овса сохранялось в течение двух лет.

В исследованиях на выщелоченном черноземе длительное применение сидератов способствовало возрастанию накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне озимой пшеницы в 1.4–1.7 раза, в соломе – в 1.5–1.9 раза. Дополнительное внесение повышенных доз минеральных удобрений приводит к увеличению накопления радионуклида в зерне и соломе растений в 1,5–1,8 раза. При этом внесение минеральных удобрений на фоне запашки соломы не оказывает значимого влияния на изменение перехода  $^{137}\text{Cs}$  в урожай.

Таким образом, при применении разных видов органических удобрений на радиоактивно загрязненных территориях необходим учет всего комплекса факторов, оказывающих влияние как

на состояние почвенного плодородия, так и поведение радионуклидов в системе почва–растение, что позволяет наиболее адекватно оценивать агрономическую и радиологическую эффективность защитных агрохимических мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санжарова Н.И., Сысоева А.А., Исамов Н.Н. и др. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Рос. хим. журн. 2005. Т. XLIX. С. 26–34. [Sanzharova N.I., Sysoeva A.A., Isamov N.N. i dr. Rol' himii v reabilitacii sel'skohozyajstvennyh ugodij, podverghshihsia radioaktivnomu zagryazneniyu // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2005. T. XLIX. S. 26–34. (In Russian)]
2. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992. 400 с. [Sel'skohozyajstvennaya radioekologiya / Pod red. R.M. Alexahina, N.A. Korneeva. M.: Ekologiya, 1992. 400 s. (In Russian)]
3. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на Чернобыльской АЭС на период 1991–1995 гг. М., 1991. 58 с. [Rekomendacii po vedeniyu sel'skogo hozyajstva v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya territorii v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AES na period 1991–1995 gg. M., 1991. 58 s. (In Russian)]
4. Органические удобрения в интенсивном земледелии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Колос, 1984. 303 с. [Organicheskie udobreniya v intensivnom zemledelii / Pod red. V.G. Mineeva. M.: Kolos, 1984. 303 s. (In Russian)]
5. Босак В.Н., Головач А.А., Дембицкая Т.В., Мезенцева Е.Г. Влияние различных видов органических удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы // Агрохимия. 2008. № 8. С. 26–32. [Bosak V.N., Golovach A.A., Dembickaya T.V., Mezenceva E.G. Vliyanie razlichnyh vidov organicheskikh udobrenij na produktivnost' zernopropashnogo sevooborota i plodorodie dernovo-podzolistoj supeschanoj pochvy // Agrohimiya. 2008. № 8. S. 26–32. (In Russian)]
6. Русакова И.В. Содержание и качественный состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении соломы зерновых и зернобобовых культур // Агрохимия. 2009. № 1. С. 11–17. [Rusakova I.V. Soderzhanie i kachestvennyj sostav gumusa dernovo-podzolistoj supeschanoj pochvy pri dlitel'nom primenenii solomy zernovyh i zernobobovyh kul'tur // Agrohimiya. 2009. № 1. S. 11–17. (In Russian)]
7. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии: монография Киев: Изд-во УСХА, 1991. 328 с. [Gudkov, I.N. Osnovy obshchej i

- sel'skohozyajstvennoj radiobiologii: monografiya. Ki-  
ev: Izd-vo USKHA, 1991. 328 s. (In Russian)]
8. *Подольяк А.Г., Жданович В.П., Одинцова Л.Е. и др.* Влияние органических удобрений на аккумуляцию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в травостое суходольного луга на дерново-подзолистой песчаной почве // *Агрохимия*. 2005. № 11. С. 66–75. [*Podolyak A.G., Zhdanovich V.P., Odincova L.E. i dr.* Vliyanie organicheskikh udobrenij na akumulyaciyu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v travostoe suhodol'nogo luga na dernovo-podzolistoj peschanoj pochve // *Agrohimiya*. 2005. № 11. S. 66–75. (In Russian)]
  9. *Санжарова Н.И., Кузнецов В.К., Аксенова С.П.* Накопление  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами на песчаных и супесчаных почвах Белорусского Полесья под влиянием различных мелиорантов // *Сельскохозяйственная биология*. 1996. № 3. С. 277. [*Sanzharova N.I., Kuznetsov V.K., Aksenova S.P.* Nakoplenie  $^{137}\text{Cs}$  sel'skohozyajstvennymi kul'turami na peschanyh i supeschanyh pochvah Belorusskogo Poles'ya pod vliyaniem razlichnykh meliorantov // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*. 1996. № 3. S. 277. (In Russian)]
  10. *Ратников А.Н., Жигарева Т.Л., Петров В.К.* Эффективность окультуривания дерново-подзолистых почв в земледелии на радиоактивно загрязненных территориях // *Бюлл. ВИУА*. 2001. № 114. С. 151–154. [*Ratnikov A.N., Zhigareva T.L., Petrov V.K.* Effektivnost' okul'turivaniya dernovo-podzolistykh pochv v zemledelii na radioaktivno zagryaznennykh territoriyah // *Byulleten' VIUA*. 2001. № 114. S. 151–154. (In Russian)]
  11. *Драганская М.Г., Чаплыгина В.В., Белоус Н.М.* Роль органических удобрений в снижении накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях // *Плодородие*. 2005. № 4. С. 37–38. [*Draganskaya M.G., Chaplygina V.V., Belous N.M.* Rol' organicheskikh udobrenij v snizhenii nakopleniya  $^{137}\text{Cs}$  v rasteniyah // *Plodorodie*. 2005. № 4. S. 37–38. (In Russian)]
  12. *Агапкина Г.И.* Органические формы соединений искусственных радионуклидов в почвенных растворах природных биогеоценозов // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2002. Т. 42. № 4. С. 404–411. [*Agapkina G.I.* Organicheskie formy soedinenij iskusstvennykh radionuklidov v pochvennykh rastvorah prirodnykh biogeocenov // *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2002. V. 42. № 4. S. 404–411. (In Russian)]
  13. *Илахун А., Карпунхин А.И., Торшин С.П.* Поступление радионуклидов в растения кукурузы в водных культурах с применением органических лигандов // *Плодородие*. 2008. № 4. С. 46–47. [*Ilahun A., Karpuhin A.I., Torshin S.P.* Postuplenie radionuklidov v rasteniya kukuruzy v vodnykh kul'turah s primeneniem organicheskikh ligandov // *Plodorodie*. 2008. № 4. S. 46–47. (In Russian)]
  14. *Белова Н.В., Кузнецов В.К., Санжарова Н.И.* Эффективность применения различных видов органических удобрений на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению // *Плодородие*. 2007. № 1. С. 37–39. [*Belova N.V., Kuznetsov V.K., Sanzharova N.I.* Effektivnost' primeneniya razlichnykh vidov organicheskikh udobrenij na sel'skohozyajstvennykh ugod'yah, podvergnivshisya radioaktivnomu zagryazneniyu // *Plodorodie*. 2007. № 1. S. 37–39. (In Russian)]
  15. *Алексахин Р.М., Тихомиров Ф.А., Моисеев И.Т.* Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае // *Агрохимия*. 1992. № 8. С. 127–138. [*Alexahin R.M., Tihomirov F.A., Moiseev I.T.* Povedenie  $^{137}\text{Cs}$  v sisteme pochva–rastenie i vliyanie vnoseniya udobrenij na nakoplenie radionuklida v urozhae // *Agrohimiya*. 1992. № 8. S. 127–138. (In Russian)]
  16. *Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева.* М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с. [*Praktikum po agrokimii / Pod red. V.G. Mineeva.* M.: Izd-vo MGU, 2001. 688 s. (In Russian)]
  17. *Павлоцкая Ф.И.* Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М.: Атомиздат, 1974. 216 с. [*Pavlockaya F.I.* Migratsiya radioaktivnykh produktov global'nykh vypadenij v pochvah. M.: Atomizdat, 1974. 216 s. (In Russian)]
  18. *Водовозова И.Г., Погодин Р.И.* Влияние органического вещества почвы на переход радиоактивных изотопов в растения // *Радиоактивные изотопы в почвенных и пресноводных системах*. Свердловск, 1981. С. 15–18. [*Vodovozova I.G., Pogodin R.I.* Vliyanie organicheskogo veshchestva pochvy na perekhod radioaktivnykh izotopov v rasteniya // *Radioaktivnye izotopy v pochvennykh i presnovodnykh sistemah*. Sverdlovsk, 1981. S. 15–18. (In Russian)]
  19. *Valke E., Cremers A.* Sorption-desorption dynamics of radiocaesium in organic matter soils // *Sci. Total Environ.* 1994. V. 154. P. 275–283.
  20. *Посыпанов Г.С.* Биологический азот. Проблемы экологии растительного белка: монография. М.: Изд-во МСХА, 1993. 272 с. [*Posypanov G.S.* Biologicheskij azot. Problemy ekologii rastitel'nogo belka: monografiya. M.: Izd-vo MSKHA, 1993. 272 s. (In Russian)]
  21. *Тулина А.С., Ставрова Н.Г., Семенов В.М.* Закономерности поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения из дерново-подзолистой песчаной почвы при внесении азотных удобрений // *Агрохимия*. 2007. № 11. С. 61–70. [*Tulina A.S., Stavrova N.G., Semenov V.M.* Zakonomernosti postupleniya  $^{137}\text{Cs}$  v rasteniya iz dernovo-podzolistoj peschanoj pochvy pri vnosenii azotnykh udobrenij // *Agrohimiya*. 2007. № 11. S. 61–70. (In Russian)]
  22. *Цибулько Н.Н., Киселева Д.В.* Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и продуктивность зерновых культур // *Агрохимия*. 2010. № 4. С. 56–61. [*Cibul'ko N.N., Kiseleva D.V.* Vliyanie doz i srokov vnoseniya azotnykh udobrenij na nakoplenie  $^{137}\text{Cs}$  v rasteniyah i produktivnost' zernovykh kul'tur // *Agrohimiya*. 2010. № 4. S. 56–61. (In Russian)]



## Influence of Different Types of Organic Fertilizers on the Transfer of $^{137}\text{Cs}$ into the Grain Crops Harvest

N. V. Andreeva<sup>a,#</sup>, N. V. Belova<sup>a</sup>, V. K. Kuznetsov<sup>a</sup>, and V. P. Grunskaya<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

<sup>b</sup> Tula Research Institute for Agriculture, Plavsk, Russia

<sup>#</sup> E-mail: nva2803@yandex.ru

Long-term stationary experiments allowed studying the effectiveness of various types of organic fertilizers on sod-podzolic soil and leached chernozem contaminated with  $^{137}\text{Cs}$  due to the Chernobyl accident. It was established that the use of litter and liquid manure, straw, green manures on sod-podzolic sandy soil at separate and joint application had a positive effect on soil fertility indicators and reduced the biological mobility of  $^{137}\text{Cs}$ . The content of exchangeable forms of  $^{137}\text{Cs}$  in soil decreased by 4.2% when ploughing the green manure, in combination with straw, it decreased by 4.1–4.3%, and at the application of straw and green manure against the manure background – by 5.8–8.0%, in comparison to the control. The combined application of straw and green manure against the background of litter manure reduces the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in barley grain by 1.6–2.4 times. The introduction of acidic mid-decomposed peat at a dose of 30 t/ha against NPK background to sod-podzolic sandy soil facilitated an increase in the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in the grain of oats by 1.2–1.5 times. Ploughing of green manure of legumes into a leached chernozem increases the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in grain and straw of winter wheat by 1.4–1.9 times.

**Keywords:** radionuclides, organic fertilizers,  $^{137}\text{Cs}$ , biological mobility