УДК 631.4:546.36:631.5

МИГРАЦИЯ ^{137}CS ПО ПОЧВЕННОМУ ПРОФИЛЮ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Е.В. СМОЛЬСКИЙ, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (e-mail: sev_84@mail.ru)
И.А. БОЖИН, аспирант
К.А. СЕРДЮКОВА, аспирант
А.П. СЕРДЮКОВ, аспирант
Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская 2а, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., 243365, Российская Федерация

Резюме. *Изучение миграции ^{137}Cs по профилю почвы в зависимости от времени и агротехнических приемов проводили на участке центральной поймы реки Ипуть в опыте, заложенном в 1994 г. в Новозыбковском районе Брянской области. Почва аллювиальная луговая, песчаная, мощность гумусового горизонта 17-18 см, с глубины 40 см начинается глеевый горизонт. Агрохимическая характеристика: pH_{KCl} – 5,2-5,6, гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований соответственно 2,6-2,8 и 11,3-13,1 мг-экв./100 г почвы, содержание гумуса (по Тюрину) – 3,08-3,33 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 620-840 и 133-180 мг/кг. Плотность загрязнения ^{137}Cs опытного участка составляла 559-867 кБк/м^2. На естественных кормовых угодьях основная часть радиоактивного цезия сосредоточена в дернине, перемещение по слоям почвы происходит очень медленно. Обработка почвы дисковыми боронами приводит к постепенному выравниванию содержания ^{137}Cs по ее горизонтам в пределах корнеобитаемого слоя (0-20 см). Использование двухъярусного плуга в первые годы резко снижает содержание ^{137}Cs в верхнем горизонте почвы, однако с годами происходит выравнивание величины этого показателя в пределах корнеобитаемого слоя. Миграция радиоактивного цезия из почвы в зеленую массу многолетних трав и дальше в продукцию животноводства зависела от агротехнических приемов. Наибольший положительный эффект отмечен при использовании двухъярусного плуга: удельная активность ^{137}Cs корма снизилась, по сравнению с естественным кормовым угодьем, в 4 раза. Агротехнические приемы ограничивали миграцию ^{137}Cs по пищевой цепи, однако при существующей плотности загрязнения опытного участка не представлялось возможным получить нормативно «чистые» корма.*

Ключевые слова: *аллювиальная почва, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , распределение ^{137}Cs по слоям почвы, агротехнические приемы.*
Для цитирования: *Миграция ^{137}Cs по почвенному профилю аллювиальной почвы в зависимости от агротехнических приемов / Е.В. Смольский, И.А. Божин, К.А. Сердюкова, А.П. Сердюков // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т.31. №1. С. 16-18.*

Анализ содержания радионуклидов в травостое естественных и культурных луговых фитоценозов после аварии на Чернобыльской АЭС выявил значительный разброс показателей, который объяснялся такими факторами, как неоднородность уровня загрязнения почв, различия по их генезису и гранулометрическому составу, разная удаленность обследуемых площадей от места аварии, различные формы радионуклида в почве. Как общая закономерность была отмечена высокая степень загрязнения травостоев естественных кормовых угодий, по сравнению с растительностью окультуренных сенокосов и пастбищ, а также с сеяными травами, возделываемыми на пашне [1-3].

Вертикальная миграция ^{137}Cs в почве протекает с малой скоростью. Глубина миграции радионуклидов во многом зависит от состава органических и минеральных компонентов почвы, ее физико-химических характеристик и режима увлажнения. В почвах, испытывающих постоянное переувлажнение, радионуклиды мигрируют глубже, чем в автоморфных [4-6].

Необходимость изучения вертикальной миграции ^{137}Cs в почве луга определяется тем, что от распределения радионуклида в почвенном профиле и удаления из корнеобитаемой зоны зависят размеры его накопления в травостое. Кроме того, это влияет на величину экспозиционной дозы и, следовательно, на дозу внешнего облучения человека [7, 8].

Производство продуктов питания с допустимой и более низкой концентрацией радионуклидов имеет приоритетное значение, поскольку в формировании доз облучения преобладает внутренняя составляющая из-за потребления загрязненной пищи [9].

Особенно актуальны перечисленные проблемы там, где преобладают малопродуктивные песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода радионуклидов ^{137}Cs. Именно в таких условиях производят молоко с превышением допустимого содержания ^{137}Cs [10].

Цель наших исследований выявить влияние агротехнических приёмов на улучшение естественных кормовых угодий, обусловленное распределением ^{137}Cs в почвенном профиле аллювиальной почвы, и на снижение миграции ^{137}Cs по пищевой цепи.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили на луговом участке центральной поймы реки Ипуть в стационарном факториальном опыте, заложенном в 1994 г. в Новозыбковском районе. Почва опытного участка аллювиальная луговая, песчаная, мощность гумусового горизонта 17-18 см, с глубины 40 см глеевый горизонт. Плотность загрязнения ^{137}Cs в период проведения работ по перезалужению колебалась в пределах 559-867 кБк/м^2.

Агрохимические свойства почвы опытного участка характеризовались следующими показателями: pH_{KCl} – 5,2-5,6, гидролитическая кислотность – 2,6-2,8 мг-экв./100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 11,3-13,1 мг-экв./100 г почвы, содержание гумуса (по Тюрину) – 3,08-3,33 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – 620-840 и 133-180 мг/кг соответственно.

Агротехнические мероприятия предусматривали обработку почвы дисковыми боронами БДФ-2,4 или вспашку двухъярусным плугом ПЯ-40 с последующим посевом типичной для региона мятликовой травосмеси. Естественный травостой был представлен мятликовыми видами трав.

Удельную активность молока рассчитывали через равновесный коэффициент перехода радионуклида из суточного рациона в животноводческую продукцию (при ежесуточном поступлении из 50 кг зеленой массы) [11].

Почвенные образцы по слоям отбирали буром через 5 см. Удельную активность ^{137}Cs в исследуемых образцах измеряли на комплексе универсальном спектрометрическом УКС Гамма Плюс, аппаратурная ошибка измерений не превышала 30 %.

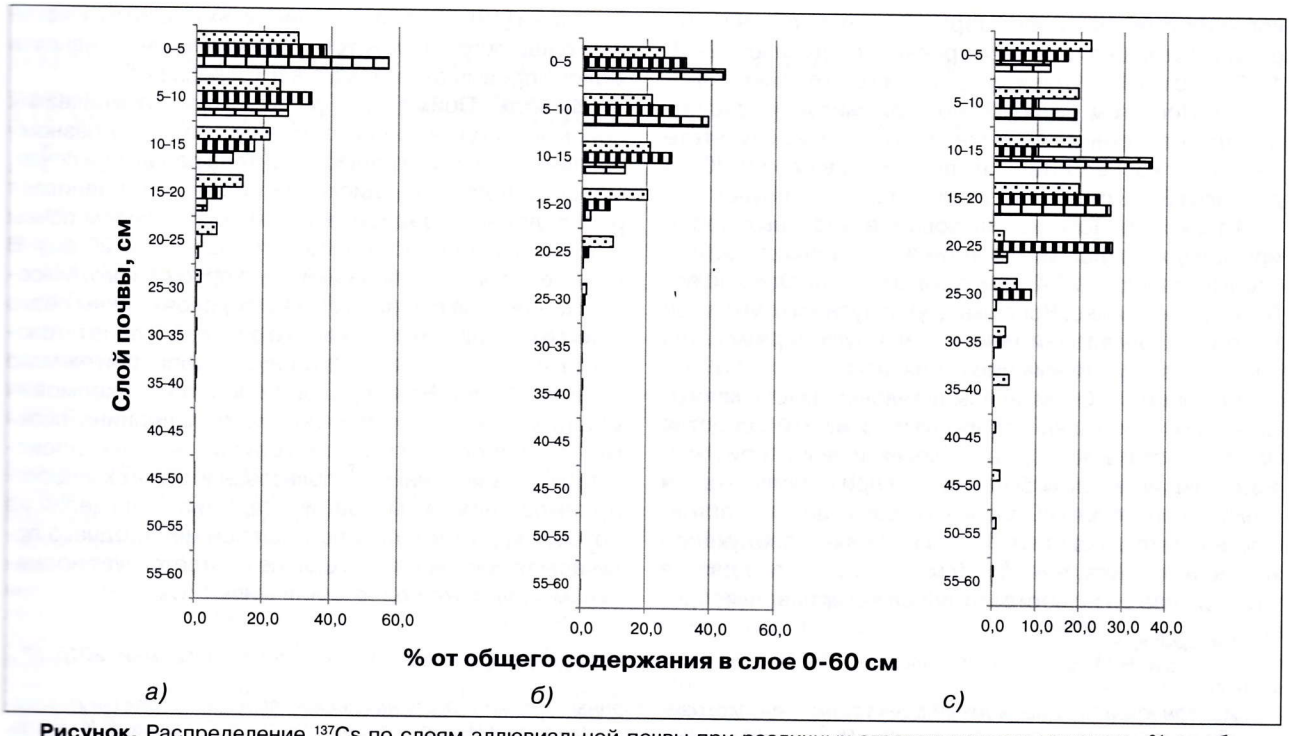

Рисунок. Распределение ^{137}Cs по слоям аллювиальной почвы при различных агротехнических приемах, % от общего количества в слое 0-60 см: а) – без применения агротехнических приемов (пойменный луг), б) – поверхностное улучшение пойменного луга (обработка дисковыми боронами), с) – коренное улучшение пойменного луга (обработка двухъярусным плугом): ⁘ – 2015; ||| – 2007; ⊞ – 1994 гг.

Миграцию ^{137}Cs из почвы в растения и далее по пищевой цепи определяли согласно существующим методикам [11].

Результаты и обсуждение. В 1994 г. в год закладки опыта, через 8 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, ^{137}Cs находили на глубине до 40 см. Его основная часть 56,9 % присутствовала в дернине (слой 0-5 см), на глубине 5-10 см содержание радионуклида было меньше в 2,1 раза, 10-15 см – в 5,2 раза. В слое 15-20 см почвы отмечено всего 3,3 % ^{137}Cs, 20-40 см – около 1,5 %. По прошествии 13 лет после закладки опыта содержание ^{137}Cs в слоях 0-5 и 5-10 см практически сравнялось – соответственно 38 и 34 %, в слое 10-20 см почвы оно возросло на 10 %, при этом в корнеобитаемом слое 0-20 см находилось 97,5 % ^{137}Cs. В 2007 г. ^{137}Cs обнаруживали на глубине до 60 см. Однако на горизонт 20-60 см приходилось всего 2,5 % от общего количества радионуклида. Через 29 лет после аварии доля ^{137}Cs в корнеобитаемом слое 0-20 см составляла 90,8 %. Произошло его перераспределение с увеличением содержания в 10-20 см слоях аллювиальной почвы до 35,8 %. Миграция в нижележащие слои составляла около 0,8 % в год, так, на 20-60 см приходилось всего 9,2 % (см. рисунок).

Проведение поверхностного улучшения пойменных угодий с посевом многолетних трав через 8 лет после аварии на Чернобыльской АЭС способствовало более равномерному распределению ^{137}Cs в двух верхних слоях почвы 0-5 и 5-10 см, разница между которыми составила всего в 1,1 раза. Основная часть (99 %) радионуклидов находилась в слое 0-20 см, в горизонте 20-40 см величина этого показателя составляла около 1 %. В 2007 г. установили более равномерное (32,0, 28,3 и 27,7 %) распределение ^{137}Cs между тремя верхними слоями, разница между первым и третьим слоями составила всего 4,3 %, тогда как в 1994 г. она была равна 30,9 %. При этом ^{137}Cs обнаруживали на глубине до 60 см. Однако основная его часть (более 95 %) оставалась в слое 0-20 см. По прошествии 29 лет после аварии отмечено равномерное (25,2, 21,4, 20,9 и 20,2 %) распределение радионуклида между четырьмя верхними слоями почвы, разница между первым и четвертым слоям не превышала 5,0 %, тогда как в 2007 г. она составляла 23,4 %, в 1994 г. – 41,5 %. На сегодняшний день в корнеобитаемом слое 0-20 см в этом варианте находится 87,7 % ^{137}Cs, остальная его часть мигрировала в нижележащие слои до 60 см (см. рисунок).

Проведение коренного улучшения пойменных угодий с посевом многолетних трав через 8 лет после аварии на Чернобыльской АЭС позволило переместить 63 % ^{137}Cs в нижележащие корнеобитаемые горизонты (10-15 и 15-20 см), при этом в слое 0-10 см осталось около 32 % радиоизотопа цезия. Основная его часть (95 %) находилась в слое 0-20 см, в горизонте 20-40 см было обнаружено около 5 % ^{137}Cs от общего количества. В 2007 г. в горизонте 0-20 см содержалось всего 62 % ^{137}Cs, остальная его часть мигрировала за пределы

Таблица. **Миграция ^{137}Cs из почвы по пищевой цепи в зависимости от агротехнических приемов улучшения кормовых угодий (2015 г.)**

Вариант	*Удельная активность ^{137}Cs почвы, слой 0-20, Бк/кг*	*Плотность загрязнения ^{137}Cs, кБк/м^2*	*Коэффициент перехода ^{137}Cs в зеленую массу, Бк/кг : кБк/м^2*	*Удельная активность ^{137}Cs зеленая масса, Бк/кг*	*Удельная активность ^{137}Cs молока, Бк/л*
Пойменный луг	2243	560	1,8	1008	504
Обработка дисковой бороной	2303	575	1,4	805	403
Обработка двухъярусным плугом	1100	275	0,9	248	124

корнеобитаемого слоя. Через 29 лет после аварии радиоизотоп цезия равномерно распределялся (22,3, 19,5, 20,0 и 19,7 %) между четырьмя верхними слоями почвы. При этом была установлена миграция радионуклида из нижних в верхние слои почвы, в результате которой в корнеобитаемом доля ^{137}Cs в слое 0-20 см достигла 82 % от общего количества (см. рисунок).

Таким образом, использование дисковых борон при поверхностном улучшении не снижало содержание ^{137}Cs в слое почвы 0-20 см, а только распределяло его более равномерно. Вспашка двухъярусным плугом при коренном улучшении пойменного луга перемещала часть ^{137}Cs в нижележащие горизонты.

Миграция ^{137}Cs из почвы в зеленую массу многолетних трав и дальше в продукцию животноводства зависела от применяемых агротехнических приемов. Наибольший эффект был выявлен при использовании двухъярусного плуга, после которого удельная активность корма снизилась, по сравнению с продукцией пойменного луга, в 4 раза (см. табл.). Однако даже в этом случае он не соответствовал ветеринарным требованиям [12], а использование таких угодий в качестве пастбища приводило к тому, что удельная активность молока превышала норматив в 1,2 раза [13].

Выводы. Применения различных агротехнических приемов при улучшении пойменных угодий по-разному воздействует на миграцию ^{137}Cs в аллювиальной почве. Обработка дернины дисковой бороной выравнивает распределение радиоизотопа цезия по слоям почвы в пределах корнеобитаемого горизонта (0-20 см). В первые годы после вспашки двухъярусным плугом содержание ^{137}Cs в верхних (0-10 см) слоях почвы резко снижается, однако с годами его распределение по слоям почвы выравнивается в пределах корнеобитаемого слоя (0-20 см). Без улучшения природных кормовых угодий основная масса ^{137}Cs остается в дернине, перемещение в более глубокие горизонты почвы происходит очень медленно. Использование агротехнических приемов снижает миграцию радиоизотопа цезия из почвы в корма и далее по пищевой цепи, однако получаемая продукция все еще не соответствует нормативам по уровню содержания в ней ^{137}Cs.

Литература.

1. Белоус Н.М. Дела Чернобыльские // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2 (54). С. 3-8.

2. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС) / В.Г. Сычев, В.И. Лунёв, П.М. Орлов, Н.М. Белоус. М.: ВНИИА, 2016. 184 с.

3. Особенности мелиоративных мероприятий по промывке загрязненных цезием почв в сравнении с промывкой засоленных почв / С.В. Василенков, В.Ф. Василенков, Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, Г.П. Малявко, О.Н. Дёмина // Вестник Брянской ГСХА. 2015. № 5. С. 61-68.

4. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ: монография. Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2011. 211 с.

5. Белоус И.Н., Кротова Е.А., Смольский Е.В. Эффективность агрохимических приемов при поверхностном улучшении естественных кормовых угодий, загрязненных ^{137}Cs // Агрохимия. 2012. №8. С. 18-24.

6. Оценка коренного улучшения лугов, загрязненных ^{137}Cs / И.Н. Белоус, Д.Н. Прищеп, Ю.А. Анишина, Е.В. Смольский // Аграрная наука. 2011. № 12. С. 11–13.

7. Эколого-экономическая эффективность применения минеральных удобрений на радиационно-загрязненных естественных лугах Брянской области / И.Н. Белоус, Ю.А. Анишина, Д.Н. Прищеп, Е.В. Смольский // Достижения науки и техники АПК. 2011. №12. С. 43–46.

8. Белоус И.Н., Шаповалов В.Ф., Харкевич Л.П. Влияние удобрений и обработки почвы на миграцию ^{137}Cs в почве кормовых угодий // Земледелие. 2012. № 8. С. 8–10.

9. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Эффективность мероприятий, направленных на снижение доз облучения жителей сельских населенных пунктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. №6. С. 682–694.

10. Риск получения молока и кормов не соответствующих нормативам по содержанию цезия-137 / Н.М. Белоус, И.И. Сидоров, Е.В. Смольский, С.Ф. Чесалин, Т.В. Дробышевская // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 5. С. 75-77.

11. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.

12. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов 90Sr и 137Cs. Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринар. Патология. 2002. №4. С. 44–45.

13. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2002. 164 с.

MIGRATION OF CS-137 ALONG THE SOIL PROFILE OF ALLUVIAL SOIL DEPENDING ON AGROTECHNICAL TECHNIQUES

E.V. Smolsky, I.A. Bozhin, K.A. Serdyukova, A.P. Serdyukov

Bryansk State Agricultural University, ul. Sovetskaya, 2a, s. Kokino, Vygonichskii r-n, Bryanskaya obl., 243365, Russian Federation

Abstract. Migration of Cs-137 along the soil profile depending on time and agrotechnical techniques was studied in the area of floodplain of the lput in the experiment, founded in 1994 in Novozybkovsky district of Bryansk region. The soil is alluvial meadow, sandy, the thickness of the humic horizon is 17-18 cm, a gley horizon begins from the depth of 40 cm. pH(KCl) is 5.2-5.6; hydrolytic acidity is 2.6-2.8 mg-eq/100 g of soil; total absorbed bases is 11.3-13.1 mg-eq/100 g of soil; the humus content (according to Tyurin) is 3.08-3.33 %; the content of mobile phosphorus and exchange potassium (according to Kirsanov) is 620-840 and 133-180 mg/kg, respectively. Pollution density by Cs-137 of the test plot was 559-867 kBq/sq.m. In natural forage lands the main part of radioactive pollution concentrates in sod, the movement between soil layers is very slow. Soil treatment by disk harrows leads to gradual alignment of Cs-137 content in soil horizons within a root layer (0-20 cm). The use of a double-deck plow during the first years sharply reduces the content of Cs-137 in the top layer of soil, however, over the years there is an alignment of Cs-137 content within the root layer. The migration of Cs-137 from soil in green mass of perennial grasses and further in livestock production depended on agrotechnical techniques. The greatest positive effect was registered at application of the double-deck plow: the specific activity of Cs-137 in forage reduced four times in comparison with a natural forage land. Agrotechnical techniques limited the migration of Cs-137 along the food chain, however, at the pollution density of the test plot it was not possible to obtain standard safe forages.

Keywords: alluvial soil, radioactive pollution, Cs-137, distribution of Cs-137 in soil layers, agrotechnical techniques.

Author Details: E.V. Smolsky, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof. (e-mail: sev_84@mail.ru); I.A. Bozhin, post graduate student; K.A. Serdyukova, post graduate student; A.P. Serdyukov, post graduate student.

For citation: Smolsky E.V., Bozhin I.A., Serdyukova K.A., Serdyukov A.P. Migration of Cs-137 along the Soil Profile of Alluvial Soil Depending on Agrotechnical Techniques. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* 2017. V.31. No. 1. Pp. 16-18 (in Russ.).