

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs
 В ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СРЕДНЕДАЛЬНОЙ ЗОНЫ
 ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ВЫПАДЕНИЙ
 (РЯЗАНСКАЯ И ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТИ)

А.А. ЛУРЬЕ, С.П. ТОРШИН, В.С. РОДИОНОВ

(Кафедра радиологии, кафедра ботаники)

В рамках полевой почвенно-геоботанической практики со студентами факультета почвоведения, агрохимии и экологии произведён отбор почвенных и растительных проб на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии. Анализом сопряжённых почвенно-растительных проб определены коэффициенты накопления ^{137}Cs для 34 видов полевой растительности. Выявлены некоторые примеры преобладания видовой специфичности корневого поглощения ^{137}Cs по сравнению с влиянием почвенных факторов. Максимальное накопление ^{137}Cs отмечено в зелёной массе цветущей гречихи. Среди обычной растительности суходольных и пойменных лугов наибольшее накопление отмечено у отдельных представителей семейств злаковых и бобовых, наименьшее — у видов растений со стержневой корневой системой.

Ключевые слова: радиоцезий (^{137}Cs), чернобыльская зона загрязнения, радионуклидное загрязнение почв, профильное распределение радионуклидов, корневое поглощение ^{137}Cs , коэффициенты накопления в растениях, видовая специфичность.

Сенокосение, выпас скота, заготовка лекарственных трав и другие виды использования луговой растительности в регионах, подвергшихся радионуклидному загрязнению вследствие Чернобыльской аварии, вызывают необходимость в получении информации относительно уровней накопления радионуклидов у растений разных видов, на различных почвах и в разных ландшафтах [4, 5, 7, 10, 12].

Особенность радиоактивного загрязнения той части зоны, которая находится на расстоянии около 500 км от ЧАЭС, состоит в существенном превышении ^{137}Cs по отношению к ^{90}Sr [8]. Преобладающие здесь почвы — чернозёмы, дерново-подзолистые и серые лесные, с большим разнообразием ландшафтов как элювиального,

так и аккумулятивного характера. Эти и другие почвенные факторы (кислотность, степень гидроморфности, содержание калия как макроаналога цезия, и др.) оказывают значительное влияние на корневое поступление ^{137}Cs в растения.

Большое значение имеет и расположение активной части корневой системы по отношению к наиболее загрязнённому почвенному слою [1]. Как правило, наибольший запас радионуклидов в естественной, неперепахивавшейся почве сосредоточен в верхних слоях почвы, не глубже 5-10 см.

Объекты и методы исследования

В настоящем сообщении представлены результаты исследований, выполненных в рамках зональной почвенно-геоботанической полевой

практики со студентами факультета почвоведения, агрохимии и экологии (радиологическая часть полевой практики проводится ежегодно начиная с 2005 г.) [11]. Места отбора проб — пойменные террасы у Пронского водохранилища (Михайловский район Рязанской обл.) и суходольные луга у с. Красное (Плавский район Тульской обл.).

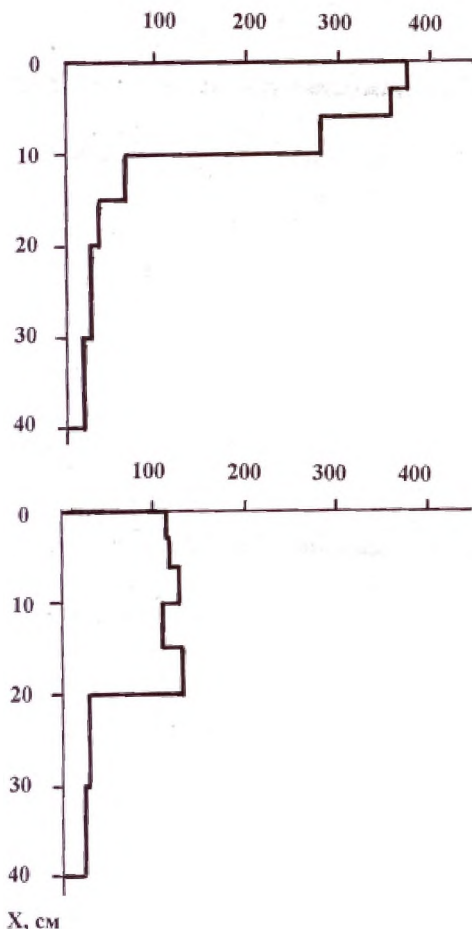
Радиоактивность отобранных в поле проб измеряли в лаборатории на автоматическом спектрометре СотриGamma 1282 (Wallac, Финляндия). Для достижения необходимой чувствительности и точности определения в небольших по объёму пробах (ёмкость пробирок 13 см³) измерения растительных образцов выполняли с большим временем счёта, достигавшим 6000 с по единичному измерению; для почвенных проб достаточным был счёт в течение 1000 с.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 (цифровые данные — табл. 1) показано профильное распределение ¹³⁷Cs в почвах надпойменных террас для двух близкорасположенных участков, один из которых однажды (или, возможно, несколько раз) после 1986 г. был подвергнут перепахиванию, другой сохранился в естественном состоянии. Видно, что в почве естественного сложения основная масса ¹³⁷Cs сосредоточена в слое 10 см (с резким снижением содержания вниз по профилю), тогда как в перепаханной почве загрязнение довольно равномерно распределено на глубину порядка 20 см. Таким образом, в результате перепахивания содержание ¹³⁷Cs в расчёте на единицу массы почвы в верхних её слоях снизилось примерно в 3 раза.

В таблицах 2 и 3 приведены результаты определений содержания ¹³⁷Cs в почве и растительности. Коэффициенты накопления (К_н) рассчитывали по соотношению удельных активностей

Удельная активность ¹³⁷Cs в почве, Бк/кг



Распределение ¹³⁷Cs в профиле чернозёмной почвы на лугу естественном (вверху) и подвергнутом перепахке после 1986 г. (внизу)

¹³⁷Cs в сопряжённых пробах наземной растительной массы и почвенного материала из верхнего, корнеобитаемого слоя ($K_n = a_{\text{раст}} / a_{\text{почва}}$).

Значения К_н показали существенный разброс данных даже при определении в пробах одного вида растений, но взятых с разных участков. Такой разброс обусловлен, во-первых, невысокой точностью измерений в растительной массе (из-за крайне низких уровней содержания радионуклида)

Таблица 1

Профильное распределение ^{137}Cs в чернозёмной почве надпойменных террас у Пронского водохранилища, на участках луга естественного состояния и перепаханного после 1986 г.

Слой почвы, см	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг, в почвах	
	естественного луга (Е)	перепаханного луга (СП)
0-3	373 ± 14	115;* 4
3-6	357 ± 6	118 ± 3
6-10	283 ± 4	129 ± 5
10-15	66 ± 3	111 ± 9
15-20	37 ± 2	135 ± 4
20-30	30 ± 7	31 ± 1
30-40	20 ± 3	25 ± 6

и, во-вторых, влиянием трудноучтываемых факторов, связанных с условиями произрастания на отдельных участках (биотопах).

Проведённый корреляционный анализ всего массива данных показал слабую степень связи между содержанием ^{137}Cs в растительной массе и загрязнённостью почвы. Значение коэффициента корреляции между этими двумя показателями оказалось равным 0,45 и 0,33 среди проб, взятых соответственно с пойменных террас у Пронского водохранилища ($n = 41$) и с суходольных лугов в Плавском районе ($n = 19$). В последнем случае пришлось даже исключить данные по гречихе, так как без этого корреля-

Таблица 2

Значения коэффициентов накопления ^{137}Cs в луговой растительности надпойменных террас у Пронского водохранилища (по данным 2006-2007 гг.; почвы — чернозём выщелоченный)

Растение	Семейство	Удельная активность в растениях, Бк/кг	Удельная активность в почве, Бк/кг	Кн
Репешок обыкновенный <i>Agrimonia eupatoria</i>	Розанные	0,8 ± 0,8	155 ± 6	0,005 ± 0,005
Клевер гибридный <i>Trifolium hybridum</i>	Бобовые	4,9 ± 2,2	155 ± 6	0,03 ± 0,01
Пижма обыкновенная <i>Tanacetum vulgare</i>	Сложноцветные	10,3 ± 1,5 11, 4 ± 5,8	276 ± 10 359 ± 18	0,04 ± 0,01 0,03 ± 0,02
Лапчатка гусиная <i>Potentilla anserina</i>	Розанные	16 ± 3	372 ± 22	0,04 ± 0,01
Бодяк полевой <i>Cirsium arvense</i>	Сложноцветные	16 ± 8	372 ± 22	0,04 ± 0,02
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeos</i>	Злаковые	24 ± 10 2,8 ± 0,1	245 ± 7 380 ± 5	0,10 ± 0,04 0,01 ± 0,00
Тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i>	Сложноцветные	29 ± 5 17,1 ± 7,9 5,9 ± 5,9	372 ± 22 311 ± 2 131 ± 12	0,08 ± 0,01 0,05 ± 0,03 0,05 ± 0,05
Кострец безостый <i>Bromopsis inermis</i>	Злаковые	9,9 ± 5,3	143 ± 3	0,07 ± 0,04
Вьюнок полевой <i>Convolvulus arvensis</i>	Вьюнковые	24 ± 4 11,4 ± 6,2	245 ± 7 231 ± 8	0,10 ± 0,02 0,05 ± 0,03
Пастернак посевной <i>Pastinaca sativa</i>	Зонтичные	13,5 ± 5,0	155 ± 6	0,09 ± 0,03
Лядвенец рогатый <i>Lotus corniculatus</i>	Бобовые	28 ± 2 12 ± 6,3	245 ± 7 143 ± 3	0,11 ± 0,01 0,08 ± 0,04
Мать-и-мачеха обыкновенная <i>Tussilago farfara</i>	Сложноцветные	39,5 ± 7,2	380 ± 5	0,10 ± 0,02

Растение	Семейство	Удельная активность в растениях, Бк/кг	Удельная активность в почве, Бк/кг	Кн
Щавель конский (скупенный) <i>Rumex confertus</i>	Гречишные	14,9±4,6	131 ± 12	0,11 ± 0,04
Подмаренник настоящий <i>Galium verum</i>	Мареновые	38 ± 7	245 ± 7	0,16 ± 0,03
		36 ± 9	372 ± 22	0,10 ± 0,02
		26,6±1,6	312 ± 5	0,09 ± 0,01
		14 ± 8	216 ± 5	0,07 ± 0,04
		24 ± 5	365 ± 10	0,07 ± 0,01
		3,4 ± 3,4	132 ± 5	0,03 ± 0,03
Цикорий обыкновенный <i>Cichorium inthybus</i>	Сложноцветные	17,3±5,8	150 ± 5	0,12 ± 0,04
		22 ± 4	365 ± 10	0,06 ± 0,01
Овсяница луговая <i>Festuca pratensis</i>	Злаковые	52 ± 26	365 ± 10	0,14 ± 0,07
		49 ± 7	372 ± 22	0,13 ± 0,02
Земляника зелёная (луговая клубника) <i>Fragaria viridis</i>	Розанные	66 ± 26	365 ± 10	0,18 ± 0,07
		29 ± 12	245 ± 7	0,12 ± 0,05
Мятлик узколистный <i>Poa angustifolia</i>	Злаковые	38 ± 11	245 ± 7	0,16 ± 0,05
Хвощ луговой <i>Equisetum pratense</i>	Хвощовые	60 ± 5	372 ± 22	0,16 ± 0,01
Погренок узколистный <i>Rhinanthus angustifolius</i>	Норичниковые	92 ± 7	372 ± 22	0,25 ± 0,02
Горошек четырёхсемянный <i>Vicia tetrasperma</i>	Бобовые	97 ± 2	372 ± 22	0,26 ± 0,01
Овёс посевной <i>Avena sativa</i>	Злаковые	31 ± 7	103 ± 1	0,30 ± 0,07
		28 ± 2	119 ± 3	0,24 ± 0,02
		15 ± 2	110 ± 5	0,14 ± 0,02
Злаки различные (в аккумуляционном ландшафте - в промине у водохранилища Крупец, Тульской обл.)	Злаковые	114 ± 29	295 ± 4	0,386±0,097
		47 ± 5	268 ± 11	0,175±0,019
		15 ± 5	268 ± 8	0,056±0,018

ция оказалась совершенно неудовлетворительной ($R = 0,044$, $n = 20$). Таким образом, видовая принадлежность растительности в данных условиях оказалась намного более значимым фактором в отношении накопления ^{137}Cs , чем содержание радионуклида в поверхностном слое почвы. Попытки сгруппировать данные по разным видам растений в пределах отдельного семейства показали лишь очень небольшое улучшение корреляции, в частности, для сложноцветных ($R = 0,57$, $n = 9$).

Видовая специфичность растений по накоплению ^{137}Cs в ряде случаев проявилась достаточно чётко. Мак-

симальное накопление ^{137}Cs показала, как уже отмечено, гречиха. Этот факт хорошо известен; в сильно загрязнённых юго-западных районах Брянской обл. пришлось даже исключить эту культуру из севооборотов. Сравнительно большое накопление ^{137}Cs характерно также для ряда представителей семейства бобовых — астрагал, клевер, горошек, а также некоторых злаковых (по вегетативной массе) — мятлик, овсяница, овёс, вейник. Возможно, это связано с характером их корневой системы в виде поверхностно расположенных корневищ. В литературе имеются также отдельные данные, позволяющие предполагать

**Значения коэффициентов накопления ^{137}Cs в растительности сухоходольного луга
у с. Красное (Плавский район Тульской обл.; почвы — чернозём выщелоченный
и дерново-подзолистая; данные 2006 г.).**

Растение	Семейство	Удельная активность в растениях, Бк/кг	Удельная активность в почве, Бк/кг	Кн
Пустырник пятилопастный <i>Leonurus quinquelboide</i>	Яснотковые	7 ± 1	231 ± 14	0,030 ± 0,004
Герань луговая <i>Geranium pratense</i>	Гераниевые	19	554 ± 23	0,034
Чина луговая <i>Lathyrus pratensis</i>	Бобовые	27 ± 3	554 ± 23	0,049 ± 0,005
Репешок обыкновенный <i>Agrimonia eupatoria</i>	Розанные	20 29 ± 5	231 ± 14 554 ± 23	0,087 0,052 ± 0,009
Лук (неопред.) <i>Allium sp.</i>	Лилейные	13 ± 2	231 ± 14	0,056 ± 0,009
Разнотравье		16 ± 7	231 ± 14	0,069 ± 0,030
Осот полевой <i>Sonchus arvensis</i>	Сложноцветные	16 ± 5	231 ± 14	0,069 ± 0,022
Цикорий обыкновенный <i>Cichorium intybus</i>	Сложноцветные	16 ± 6	119 ± 1	0,134 ± 0,050
Щавель скученный <i>Rumex confertus</i>	Гречишные	3 ± 1	231 ± 14	0,013 ± 0,003
Земляника зелёная <i>Fragaria viridis</i>	Розанные	19 ± 7	119 ± 1	0,160 ± 0,059
Полынь обыкновенная <i>Artemisia vulgaris</i>	Сложноцветные	6 ± 5	554 ± 23	0,011 ± 0,010
Клевер полевой <i>Trifolium aivense</i>	Бобовые	13 ± 1	139 ± 3	0,094 ± 0,007
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeos</i>	Злаковые	25 ± 0,4	231 ± 14	0,108 ± 0,002
Злаковые (различные виды)	Злаковые	98	554 ± 23	0,177
Василистник водосборolistный <i>Thaicttrum aquilegifolium</i>	Лютиковые	47 ± 12	231 ± 14	0,203 ± 0,052
Астрагал датский <i>Astragalus danicus</i>	Бобовые	82 ± 16	395 ± 6	0,208 ± 0,041
Гречиха посевная <i>Fagopyrum sagittatum</i>	Гречишные	26 ± 12	119 ± 1	0,218 ± 0,101
		55 ± 15	231 ± 14	0,238 ± 0,065
		349 ± 31	186 ± 5	1,88 ± 0,17

значительную роль корневой микоризы в поступлении ^{137}Cs в растения.

Основная причина повышенного накопления ^{137}Cs в растениях семейства лютиковых (василистник водосборolistный) и в хвоще луговом состоит, по-видимому, в гидроморфности условий их произрастания. В литературе имеется достаточно много сообщений о том, что накопление радионуклидов растениями, произрастающими на гидроморфных поч-

вах, заметно выше, чем на почвах автоморфных [2, 6, 7, 9].

Среднее по интенсивности накопление ^{137}Cs проявилось у погремка узколистного, несмотря на крайне малоразвитую корневую систему этого растения. Однако погремок — полупаразитный вид (паразитирует на корнях кормовых злаков, за что получил прозвище «молочный вор»), и это обстоятельство даёт хорошее объяснение отмеченному факту.

Виды растений со стержневой корневой системой, которая уходит в глубь почвы (щавель конский или скученный, цикорий обыкновенный, полынь обыкновенная, бодяк полевой, осот полевой, пижма обыкновенная, пастернак посевной), продемонстрировали сравнительно низкое накопление ^{137}Cs . Наименьшее накопление ^{137}Cs отмечено у пустырника пятилопастного, герани луговой, чины луговой, выюнка полевого, костреца безостого, лапчатки гусиной, тысячелистника обыкновенного, репешка обыкновенного. Каких-либо объяснений этому, кроме предположения о возможной видовой специфичности, у нас пока нет. Не исключена роль каких-то особых условий произрастания в биотопах, попавшихся при пробоотборе этих растений.

На основе полученных данных можно сделать общее заключение о том, что накопление ^{137}Cs в естественной луговой растительности на землях с относительно небольшим уровнем загрязнения (порядка 100-400 Бк/кг) в целом не создаёт серьёзных затруднений для таких видов хозяйственной деятельности, как сенокосение и выпас скота. Содержание ^{137}Cs в расчёте на сухую растительную массу в большинстве случаев оказалось существенно ниже уровня 400 Бк/кг, установленного для грубых кормов (сена) ветеринарными правилами и нормами — ВП 13-5-13/06-01 [3]. Исключение составляет гречиха, вы-

севаемая на небольших участках в качестве медоноса, но заключение о возможности ее культивирования в таких условиях пока сделать нельзя, т.к. мёд с близкорасположенной пасеки на содержание ^{137}Cs не проверяли.

Среди других видов растений, показавших повышенное накопление радиоцезия, отмечены в основном представители семейств злаковых (овсяница луговая, вейник) и бобовых (клевер полевой, горошек четырёхсемянный, астрагал), а также погромек узколистный и хвощ луговой.

Выводы

1. Определены показатели накопления ^{137}Cs в типичной луговой растительности Рязанской и Тульской областей, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии. На территориях с малым уровнем загрязнения почв (от 1 до 5 Ки/км²) ни в одном из исследованных видов, кроме культурной гречихи, не обнаружено значительного содержания радионуклидов в зеленой массе растений.

2. Так как радионуклидное загрязнение на естественных почвах сосредоточено в самых верхних слоях, наименьшее накопление ^{137}Cs отмечено у видов растений со стержневой корневой системой, уходящей в более глубокие горизонты. У растений с мочковатой и корневищной системами, большей частью принадлежащих к семействам злаковых и бобовых, отмечено относительно большее накопление радионуклида из почвы.

Библиографический список

1. Барыбин Л.Н., Гапоненко В.И., Мацко В.П. и др. Коэффициенты накопления цезия-137 растениями с различным типом корневых систем. / IV съезд по радиационным исследованиям. Тезисы докл., М.: Изд-во РУДН, 2001. Т. II.
2. Будкевич Т.А. Включение ^{137}Cs в биологический круговорот в ненарушенных луговых экосистемах. / Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях (тезисы докл.). СПб: Гидрометеиздат, 2000.
3. Ветеринарные правила ВП 13.5.13/03-00. М.: Минсельхоз, 2000.
4. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В., Горина Л.И. Поступление цезия-137 в травы из разных почв. // Доклады ТСХА, 1977, Вып. 223. С. 58-63.

5. Дубовая В.Г., Фесенко С.В. Динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs в естественные и сеяные травы в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2001. Т. 41. № 2. С. 210-216.

6. Ермакова О.О. Радиоэкологический мониторинг аккумуляции ^{137}Cs в растениях живого напочвенного покрова лесных ценозов. / Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. СПб: Гидрометеоздат, 2000.

7. Караваева Е.Н., Молчанова И.В. Накопление радионуклидов лекарственными растениями в зоне влияния Белоярской АЭС // Экология, 1998. № 5. С. 404-406.

8. Круглов С.В. Физико-химические аспекты загрязнения сельскохозяйственных угодий в результате аварии и миграция радионуклидов в системе почва — растение (на примере аварии на ЧАЭС): Автореф. дисс. (д.б.н.). Обнинск: ВНИИС-ХРАЭ, 1997.

9. Прохорычева Н.П. Содержание цезия-137 в луговых биогеоценозах Калининградской области. / IV съезд по радиационным исследованиям. Тезисы докл., М.: Изд-во РУДН, 2001. Т.П.

10. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И. и др. Анализ факторов, определяющих биологическую доступность ^{137}Cs в почвах лесных экосистем. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002. Т. 42. № 4. С. 448-456.

11. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Полевая практика по радиоэкологии. М.: РГАУ - МСХА, 2007.

12. Horrill A.D., Kennedy V.H., Harwood T.R. The concentration of Chernobyl derived radionuclides in species characteristic of natural and semi-natural ecosystems. / Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments (eds. G.Desmet, P.Nassimbeni, M.Belli). Amsterdam: Elsevier, 1990. P. 27-39.

Рецензент, — д. б. н. Б.А. Борисов

SUMMARY

During field soil-geobotanic practical training for students of soil science, agricultural chemistry and ecology faculty they took samples of soil and plants on the territory contaminated with radionuclides, resulted from Chernobyl disaster. Soil-plants' samples analysis has determined ^{137}Cs accumulation coefficients for thirty four field crops. Some examples of specific difference of ^{137}Cs absorption by roots as compared to soil factors are revealed. Maximal ^{137}Cs cumulation has been found in blooming buckwheat. Among plants of both upland and inundated meadows the highest level of ^{137}Cs accumulation has been found in some cereal and leguminous crops, whereas the lowest level of cumulation is found in plants having tap — root system.

Key words: radioactive caesium, Chernobyl zone of contamination, radioactive contamination of soils, profile distribution of radionuclides, root absorption of ^{137}Cs , coefficients of accumulation in plants, specific difference.

Лурье Александр Александрович — д. б. н., РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева. Тел. 976-40-24.

Торшин Сергей Порфирьевич — д. б. н., РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева. Тел. 976-40-24. Эл. почта: sptorshin@rambler.ru

Родионов Борис Семёнович — к. б. н., РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева. Тел. 976-16-18. Эл. почта: b_rod@telcomnet.ru