

УДК 539.16:635.65

В. П. ЖДАНОВИЧ, А. Г. ПОДОЛЯК, Т. В. АРАСТОВИЧ, *С. А. ДЕМИДОВИЧ,
Л. Е. ОДИНЦОВА, И. И. ИВАШКОВА, Н. Н. ПОЛОВКОВ

**АККУМУЛЯЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr РАЗНЫМИ ВИДАМИ
И СОРТАМИ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР**

*Гомельский отдел сельскохозяйственной радиологии
Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси,
Институт радиологии

(Поступила в редакцию 10.03.2005)

Загрязнение почвенного фонда Республики Беларусь — один из отрицательных факторов Чернобыльской аварии. Радиоактивному загрязнению подверглось 23% территории, в том числе 2 021,7 тыс. га сельскохозяйственных угодий, из которых 264 тыс. выведены из сельскохозяйственного оборота в связи с высокой плотностью загрязнения почв (> 40 Ки/км², или 1480 кБк/м², ^{137}Cs ; > 3 Ки/км², или 111 кБк/м², ^{90}Sr) и невозможностью получения продукции с допустимыми уровнями содержания радионуклидов. Почва стала основным источником поступления радионуклидов по цепочкам «почва — растение», «почва — растение — животное» и далее — в организм человека [1, 2].

В связи с высокими переходами радионуклидов (особенно ^{90}Sr) в растения зернобобовые культуры были исключены из производственных посевов на загрязненных землях в первые годы после аварии. Согласно «Рекомендациям по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003—2005 гг.» [3], площади посева этих культур ограничены следующими уровнями загрязнения почв: ^{137}Cs — более 25 Ки/км² (925 кБк/м²); ^{90}Sr — более 0,20 Ки/км² (7,4 кБк/м²), что привело к значительному дефициту кормового белка. Исправить такое положение в кормопроизводстве возможно лишь за счет увеличения в рационе животных доли участия кормов, полученных на основе зернобобовых культур. Это достигается за счет применения комплекса дорогостоящих защитных мероприятий (внесения дополнительных доз известковых, фосфорно-калийных и микроудобрений), а также путем использования загрязненной бобовой компоненты в смесях с чистыми кормами в количествах, не превышающих суточную активность рационов (для получения молока цельного — 1000 Бк/сут ^{137}Cs и 185 Бк/сут ^{90}Sr). Такой подход способствует улучшению питательной ценности кормов, сохранению производственных возможностей и рабочих мест на территориях с высокими уровнями загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Т а б л и ц а 1. Урожайность зеленой массы и зерна различных сортов гороха, выращенных в условиях радиоактивного загрязнения, ц/га (2000—2003)

Сорт	Зеленая масса в пересчете на сухое вещество при 16%-ной стандартной влажности												Зерно					
	1-й укос						2-й укос											
	2000	2001	2002	2003	среднее	прибавка	2000	2001	2002	2003	среднее	прибавка	2000	2001	2002	2003	среднее	прибавка
Аист — контроль	21,1	26,4	31,0	26,7	26,3	—	72,1	72,4	72,8	52,1	67,4	—	30,1	32,1	24,7	32,8	29,9	—
Кудесник	11,6	10,0	21,4	—	14,3	-12,0	49,8	52,4	45,8	—	49,3	-18,1	10,1	27,6	9,0	—	15,6	-14,3
Богатырь	—	20,8	25,4	14,8	20,3	-6,3	—	48,8	58,8	50,0	52,5	-14,9	—	23,5	18,0	40,3	27,3	-2,6
Агат	14,0	14,0	20,2	—	16,0	-10,3	52,4	53,6	63,2	—	56,4	-11,0	25,3	31,1	16,7	—	24,4	-5,5
Гомельская	21,4	24,0	22,7	—	22,7	-3,6	51,8	58,4	60,4	—	56,9	-10,5	40,8	19,0	14,9	—	24,9	-5,0
Свитанак	—	18,6	29,1	15,3	21,0	-5,3	—	78,4	53,2	35,2	55,6	-11,8	—	16,6	17,0	20,5	18,0	-11,9
Ева	—	10,0	27,2	11,9	16,4	-9,9	—	69,6	64,1	48,4	60,7	-6,7	—	25,5	13,3	20,5	19,8	-10,1
Пегас	—	12,0	10,3	8,5	10,3	-16,0	—	52,0	28,3	42,1	40,8	-26,6	—	14,8	6,9	8,5	10,1	-19,8
Д-15	—	20,0	25,6	22,8	22,8	-3,5	—	60,0	59,6	59,7	59,8	-7,6	—	25,6	31,6	22,1	26,4	-3,5
НСР ₀₅	1,5	5,0	3,0	1,5			0,4	6,9	2,1	—			0,7	2,5	1,5	1,9		

Т а б л и ц а 2. Урожайность зеленой массы и зерна различных сортов сои, выращенных в условиях радиоактивного загрязнения, ц/га (2000—2003)

Сорт	Зеленая масса в пересчете на сухое вещество при 16%-ной стандартной влажности												Зерно					
	1-й укос						2-й укос											
	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка
Магева-конт-роль	3,0	—	—	—	3,0	—	10,8	16,6	52,4	—	26,6	—	10,2	34,3	15,3	—	19,9	—
Ясельда	2,9	—	—	—	2,9	—0,1	7,0	1,6	44,6	—	17,7	—18,1	1,9	12,0	6,3	—	6,7	—13,2
Пина	0,8	—	—	—	0,8	—2,2	10,4	12,8	49,6	—	24,3	—14,9	9,6	26,9	8,0	—	14,8	—5,1
Север-ная звезда	—	—	—	—	—	—	—	33,2	51,6	—	42,4	15,8	—	35,1	20,0	—	27,6	7,7
№ 37-15	—	—	—	—	—	—	—	21,1	35,6	—	28,4	1,8	—	32,4	23,4	—	27,9	8,0
НСР ₀₅	0,3	—	—	—	—	—	—	0,5	2,1	—	—	—	0,7	2,4	1,7	—	—	—

Т а б л и ц а 3. Урожайность зеленой массы и зерна различных сортов люпина, выращенных в условиях радиоактивного загрязнения, ц/га (2000—2003)

Сорт	Зеленая масса в пересчете на сухое вещество при 16%-ной стандартной влажности												Зерно					
	1-й укос						2-й укос											
	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка	2000	2001	2002	2003	сред-нее	при-бавка
Ранний — контроль	8,9	5,0	72,0	24,2	27,5	—	42,8	30,4	73,8	72,9	55,0	—	2,6	2,0	11,3	17,5	8,4	—
Михась	11,0	5,2	73,3	—	29,8	2,3	42,3	12,0	72,6	—	42,3	—12,7	4,4	1,5	6,8	—	4,2	—4,2
Адралжэнне	5,3	4,8	60,3	—	23,5	—4,0	31,0	27,6	70,4	—	43,0	—12,0	3,7	1,9	15,9	—	7,2	—1,2
Миф	7,8	6,0	84,7	—	32,8	5,3	54,3	11,0	83,4	—	49,6	—5,4	2,5	1,2	8,1	—	3,9	—4,5
Ресурс 720	4,2	4,0	80,8	—	30,0	2,5	41,1	16,0	93,4	—	50,2	—4,8	2,2	1,5	16,3	—	6,7	—1,7
Жемчуг	14,9	13,0	78,8	—	35,6	8,1	57,0	44,4	74,7	—	58,7	3,7	7,4	3,7	13,1	—	10,5	2,1
БСХА-382	—	6,4	62,4	16,4	28,4	0,9	—	31,8	73,3	55,5	53,5	—1,5	—	3,6	10,6	20,4	12,7	4,3
Крок	—	—	35,8	18,8	27,3	—0,2	—	—	15,5	53,0	34,3	—20,7	—	—	8,2	20,4	14,3	5,9
Першацвет	1,2	16,8	50,3	—	22,8	—4,7	29,2	60,0	30,6	—	39,9	—15,1	2,2	14,4	12,7	—	9,8	1,4
Миртан	15,5	19,2	53,6	—	29,4	1,9	12,1	50,4	37,4	—	33,3	—21,7	4,5	14,4	14,8	—	11,2	2,8
Владлен	10,4	15,6	54,0	—	26,7	—0,8	3,6	43,8	40,6	—	29,3	—25,7	7,1	16,7	17,6	—	13,8	5,4
Светаник	5,6	8,4	70,5	—	28,2	0,7	35,9	33,2	41,4	—	36,8	—18,2	7,3	11,8	8,5	—	9,2	0,8
Митан	7,7	17,6	60,7	—	28,7	1,2	1,6	59,7	44,6	—	35,3	—19,7	3,7	22,1	8,0	—	11,3	2,9
Белокруз	—	24,6	65,9	19,9	36,8	9,3	—	49,9	45,7	58,0	51,2	—3,8	—	15,0	18,3	28,7	20,7	12,3
Хвалько	—	15,6	58,2	16,0	29,9	2,4	—	61,2	41,3	52,3	51,6	—3,4	—	13,9	12,4	35,8	20,7	12,3
Глатко	—	16,4	59,3	17,6	31,1	3,6	—	40,4	45,5	58,8	48,2	—6,8	—	15,5	11,5	26,6	17,9	9,5
Сморгонь-ский	—	16,4	65,8	23,8	35,3	7,8	—	49,2	37,0	62,4	49,5	—5,5	—	19,6	11,2	42,1	24,3	15,9
Сож	13,9	13,2	36,0	—	21,0	—6,5	42,0	40,0	33,4	—	36,7	—18,3	15,9	5,5	4,2	—	4,9	—3,5
НСР ₀₅	0,9	2,8	3,9	1,7	—	—	0,9	4,2	3,4	2,4	—	—	0,7	0,3	1,2	3,2	—	—

Среди факторов уменьшения аккумуляции радионуклидов в растения определенное значение имеют биологические особенности возделываемых культур и их сортов, которые по зернобобовым разработаны недостаточно. Для изучения проблемы нами проведены исследования возможностей возделывания зернобобовых культур и их сортов в условиях радиоактивного загрязнения, видовых и сортовых различий накопления радионуклидов отдельными зернобобовыми культурами с разработкой мероприятий, позволяющих получать их нормативно-чистую продукцию. Поэтому актуальным на данном этапе является поиск путей снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию зернобобовых культур на почвах с более высокой, чем 25 Ки/км² (925 кБк/м²) ^{137}Cs и более 0,20 Ки/км² (7,4 кБк/м²) ^{90}Sr плотностью загрязнения [4, 5].

Объекты и методы исследования. Полевые опыты (2000—2003) проводились на опытном поле в КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области. В опытах высевали

разные сорта гороха (Аист, Кудесник, Богатырь, Агат, Гомельская, Свитанак, Ева, Пегас и Д-15), люпина (Ранний, Михась, Адражденне, Миф, Ресурс-720, Жемчуг, БСХА-382, Крок, Першацвет, Миртан, Владлен, Светаник, Митан, Белокруз, Хвалько, Глатко, Сморгонский и Сож) и сои (Магева, Ясельда, Пина, Северная звезда и № 37–15).

Почва опытного участка — дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая мореной. Содержание элементов питания в пахотном горизонте следующее: P_2O_5 — 138,0–188,0; K_2O — 194,0–258,0; Ca — 629,0–858,0; Mg — 85,0–258,0; S — 15,6; B — 0,22; Cu — 2,39; Zn — 2,57; Mn — 4,0 мг/кг почвы; гидролитическая кислотность — 1,49–1,53 и сумма поглощенных оснований — 9,6–10,2 мг-экв/100 г почвы; гумус — 1,90–2,14%; обменная кислотность — 6,2–6,3; плотность загрязнения почвы: ^{137}Cs — 796–989,3 кБк/м² (21,5–26,7 Ки/км²) и ^{90}Sr — 15,1–21,35 кБк/м² (0,41–0,58 Ки/км²). Глубина пахотного горизонта по годам исследований составляла 19–25 см. Предшественник опытных посевов — яровые зерновые культуры. Возделывание зернобобовых культур осуществлено по типовой зональной технологии. Под предпосевную культивацию внесены фосфорно-калийные удобрения в дозах 60 и 90 кг д. в/га соответственно. Посев проводили в оптимальные сроки (третья декада апреля) по делянкам размером 25–36 м² в четырехкратном повторении по каждому варианту. За вегетирующими растениями проводились следующие приемы ухода: послеуборочное боронование в фазу 4–6 настоящих листьев, химическая обработка посевов против вредителей рекомендуемыми инсектицидами (децис и карбофос). В процессе вегетации растений осуществляли фенологические наблюдения, отбор проб почвы, растительных образцов и зерна на агрохимическое и радиологическое исследования. Учет урожая зеленой массы проводили по основным фазам развития, зерна — в фазу полной спелости. Растительные и почвенные пробы к анализам готовили по общепринятым методикам.

Основные агрохимические показатели почв определяли: гумус — по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), pH (KCl) — потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижные формы фосфора и калия — по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменный кальций и магний — на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487-85) [6].

Содержание ^{137}Cs в образцах определяли на γ -спектрометрических комплексах «Canberra» и «Oxford», а ^{90}Sr — радиохимическим методом по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на α - β -счетчике «Canberra-2400». Аппаратурная ошибка измерений

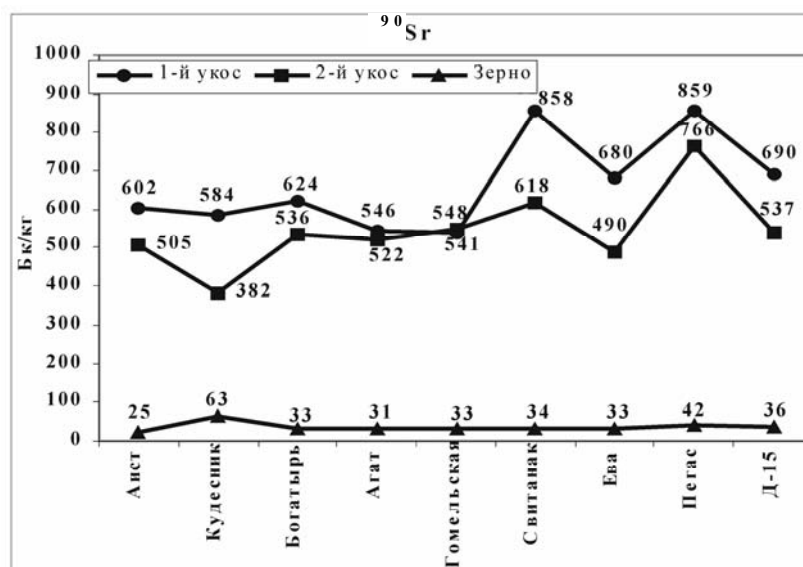
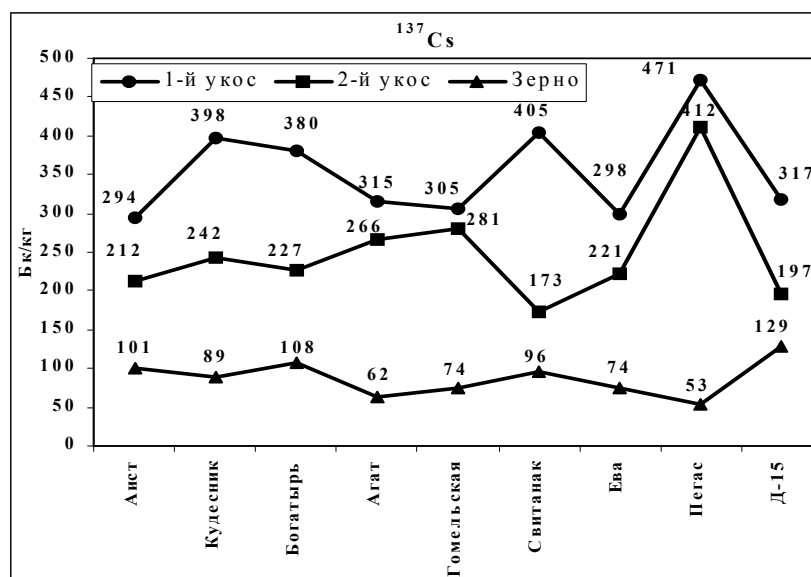


Рис. 1. Динамика накопления радионуклидов продукцией гороха разных сортов по срокам укосной спелости (сухое вещество, среднее 2000–2003 гг.)

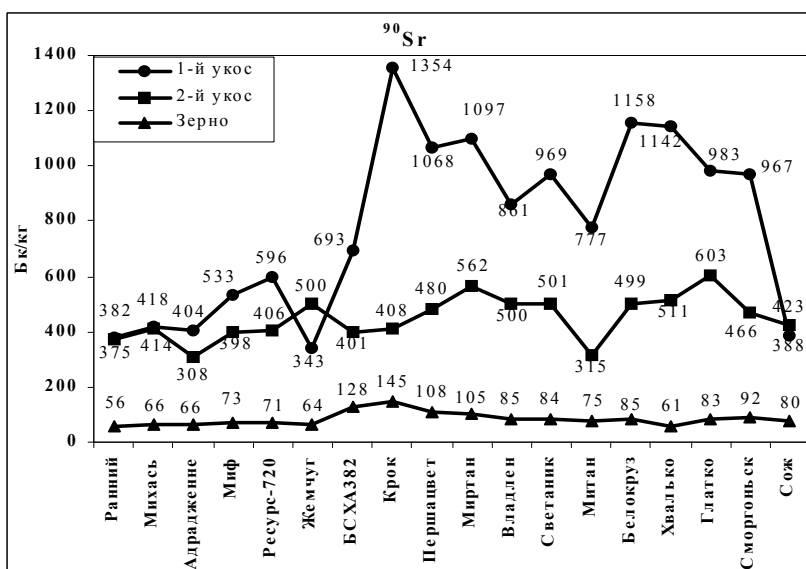
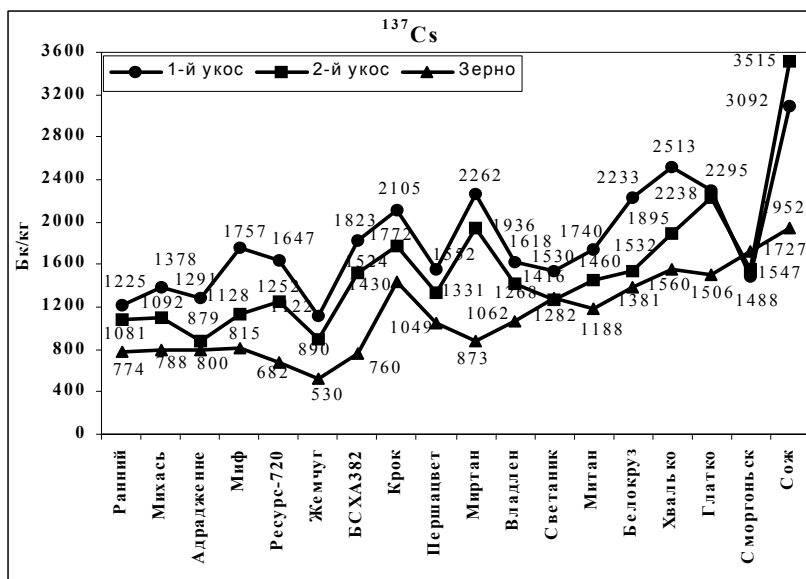


Рис. 2. Динамика накопления радионуклидов продукцией люпина разных сортов по срокам укосной спелости (сухое вещество, среднее 2000–2003 гг.)

Наиболее продуктивными по выходу сухого вещества в фазу бутонизации (27,5 и 34,4 ц/га) и полного цветения — образования бобов (55,0 и 64,8 ц/га) в среднем за 3 года оказались сорта Ранний и Жемчуг желтого кормового люпина [10].

Урожай сухого вещества в обе фазы развития всех без исключения сортов узколистного люпина превзошел контрольный вариант (сорт Ранний) только лишь в 2001 г., когда начальный период вегетации был засушливым, а этот вид люпина оказался более устойчивым к экстремальным условиям. Урожай зерна всех сортов узколистного люпина по годам и в среднем за годы исследований был достоверно выше (на 3,9–14,0 ц/га), чем у сорта Ранний (8,4 ц/га) желтого кормового люпина.

Из пяти изучаемых сортов сои самым продуктивным по выходу сухого вещества ко 2-му сроку скашивания (26,6 ц/га) и по урожаю зерна (22,6 ц/га) оказался новый сорт Северная звезда. Наиболее ранозревающим и одновременно урожайным сортом является сорт Магева.

Накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr продукцией сортов зернобобовых культур представлено на рис. 1–3. Данные свидетельствуют о том, что горох и соя накапливают значительно меньше радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленой массе и зерне, чем люпин.

не превышала 15% [7]. Полученные данные обрабатывались методом дисперсионного и регрессионного анализа с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0) (по Б. А. Доспехову) [8].

В качестве параметра, характеризующего миграцию радионуклидов в системе «почва—растение», использовали следующие величины: коэффициент перехода (КП), равный отношению удельной активности радионуклида в единице растительной пробы (Бк/кг) к плотности загрязнения площади почвы (кБк/м²), и показатель кратности различий сортов (КР) — количество раз снижения накопления радионуклидов по сравнению с контрольным сортом [9].

Результаты и их обсуждение. В опытных посевах в годы исследований высевали 9 сортов гороха, 18 — люпина и 5 — сои (табл. 1–3).

Из представленных данных видно, что наибольший урожай сухого вещества (приведен к 16%-ной влажности) как в фазу полной бутонизации — начала цветения (1-й срок скашивания), так и в фазу полного цветения — начала образования бобов (2-й срок скашивания) получен у гороха (в среднем 26,3 и 67,4 ц/га соответственно). Самый высокий урожай зерна (в среднем 29,9 ц/га) также оказался у гороха посевного (сорт Аист).

Оценивая накопление радионуклидов по показателю кратности различий между сортами гороха, установили, что в 1-й срок скашивания меньше всех содержит ^{137}Cs зеленая масса сортов гороха полевого Гомельская и Ева, гороха посевного Аист и овощного Д-15 (КР — 1,0–1,1), а больше — Пегас, Свитанак и Кудесник (1,6–1,4). В фазу полного цветения — начала образования бобов (2-й срок скашивания) лучшими по данному показателю были Свитанак, Д-15 и Аист (1,0–1,2).

Хотя данные указывают на возможность скармливания зеленой массы (сухое вещество — РДУ — 1300 Бк/кг) для получения цельного молока, существует реальная возможность варьирования в использовании зеленой массы более чистых сортов по срокам укосной спелости в зеленом конвейере. Аналогично производится оценка накопления ^{90}Sr продукцией и других зернобобовых культур.

Анализ полученных данных показывает, что не существует значительной проблемы в использовании продукции гороха и сои в кормопроизводстве. Данная проблема имеет место при возделывании люпина для кормовых целей на загрязненной территории.

Люпин белый сорт Сож по сравнению с желтым и узколистым обладает самыми высокими переходами ^{137}Cs и ^{90}Sr как в зеленую массу, так и в зерно, и продукция его практически непригодна для использования в кормопроизводстве на загрязненной территории. Между желтым кормовым и узколистым видами существенных различий в накоплении радионуклидов в зеленой массе и зерне не отмечено. В противовес этому отчетливо просматриваются различия накопления радионуклидов между сортами обоих видов. Так, в 1-й срок скашивания только сорт желтого кормового люпина Ранний по накоплению ^{137}Cs и ^{90}Sr пригоден на корм скоту для получения молока на переработку. Все другие сорта не подходят по нормам РДУ-99 для использования в этот срок скашивания. Допускается участие их зеленой массы в смесях с чистыми кормами.

Во 2-й срок скашивания (фаза полного цветения — начало образования бобов) зеленая масса может быть использована на корм скоту для получения молока на переработку только сорта узколистого люпина Митан. Зеленая же масса таких сортов желтого кормового люпина, как Ранний и Адражэнне по этим параметрам подходит при приготовлении силоса с последующим скармливанием скоту для получения молока на переработку. Все другие сорта могут быть использованы на кормовые цели лишь в смесях для разбавления чистых кормов. Зерно всех видов люпина в чистом виде по накоплению радионуклидов непригодно для кормовых целей.

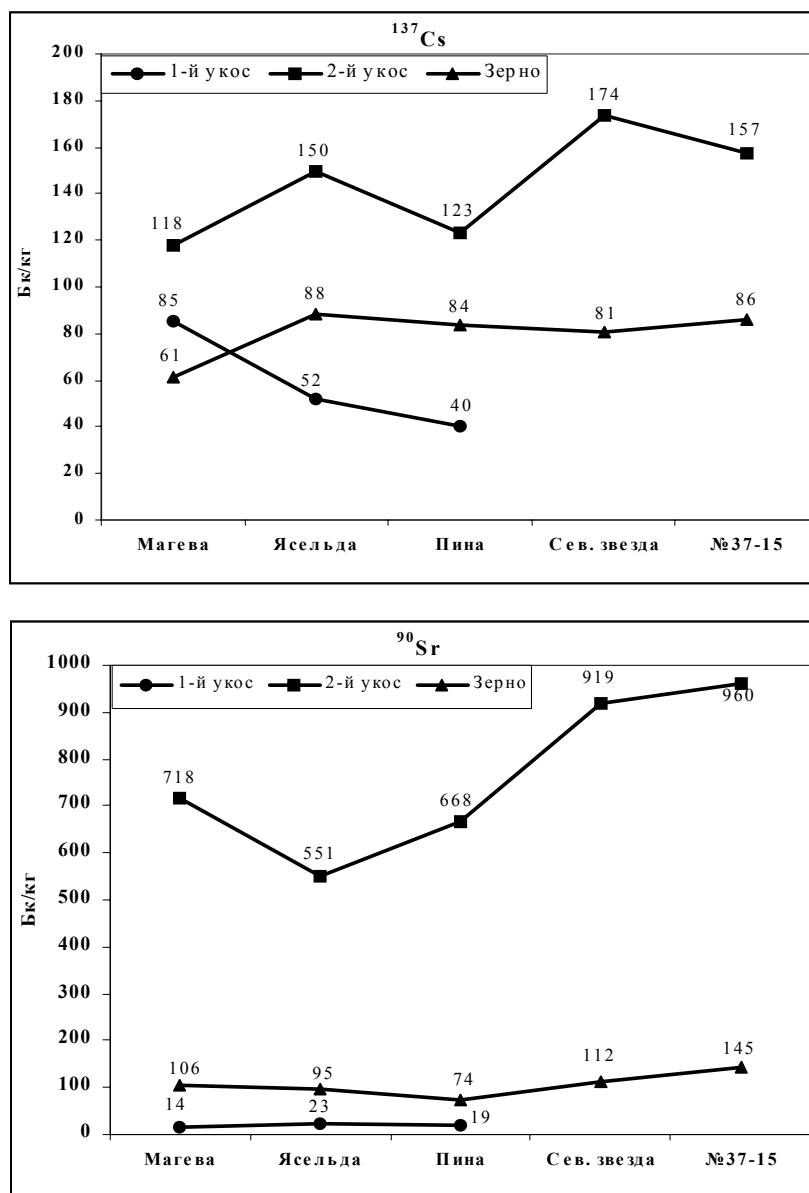


Рис. 3. Динамика накопления радионуклидов продукцией сои разных сортов по срокам укосной спелости (сухое вещество, среднее 2000–2003 гг.)

Таким образом, лучшими сортами гороха для использования на корм зеленой массы и зерна являются Аист, Гомельская, Агат и Ева, сои — Магева, Пина и Северная звезда, люпина — Жемчуг, Ранний и Адраджэнне. Сравнительно невысокими переходами радионуклидов в зеленую массу характеризуется и вика мохнатая в яровом посеве [11].

Материалы исследований можно успешно использовать для практического подбора сортов зернобобовых культур по срокам использования в зеленом конвейере.

Выводы

1. Из изученных зернобобовых культур горох посевной, горох полевой и соя накапливают наименьшие количества радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и зеленой массе. Наиболее приемлемы для возделывания в условиях радиоактивного загрязнения следующие сорта: горох посевной — Аист, горох полевой — Агат и Гомельская, сои — Магева, Пина и Северная звезда.

2. Высокими показателями накопления радионуклидов характеризуется люпин всех трех видов, поэтому использовать его посевы в производстве на загрязненных территориях следует ограниченно. Для посева в этих условиях больше всего подходят сорта желтого кормового люпина Жемчуг, Ранний, Адраджэнне и узколистного — Митан.

3. Внедрение в сельскохозяйственное производство перспективных сортов зернобобовых культур позволит получать корма, отвечающие требованиям РДУ-99, на пахотных угодьях с более высокой их плотностью радиоактивного загрязнения: ^{137}Cs — 925—1110 кБк/м² (25—30 Ки/км²); ^{90}Sr — 15—18 кБк/м² (0,40—0,50 Ки/км²).

Литература

1. Богдевич И. М., Щербачков В. А. // Весці ААН Республікі Беларусь. 1997. № 1. С. 30—40.
2. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС) / Под общ. ред. В. И. Парфенова, Б. И. Якушева. Мн., 1995. С. 237—274.
3. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Под ред. И. М. Богдевича. Мн., 2003. С. 42—43.
4. Лукашевич Н. П., Белявская Л. И., Шлома Т. М. и др. // Оценки, проблемы и перспективы производства зернобобовых культур в условиях Республики Беларусь: Аналит. обзор. Мн., 2002. С. 36.
5. Моисеев И. Т., Агапкина Г. И., Рерих Л. А. // Агрехимия. 1994. № 2. С. 103—118.
6. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие для с.-х. вузов / Под ред. И. П. Вильдфлуша, С. П. Кукреша. Мн., 1998.
7. Кузнецов А. В., Силин В. И., Павлоцкая Ф. И. и др. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях. М.: ЦИНАО, 1985.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1989.
9. Алексахин Р. М., Корнеев Н. А. Сельскохозяйственная радиоэкология. М., 1991.
10. Жданович В. П., Машков И. А., Демидович С. А. // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: Матер. междунар. науч.-практ. конф. Горки 27—29 мая 2003 г. Ч. 2. Горки, 2003. С. 103—108.
11. Рекомендации по внедрению законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство области. Гомель, 1999. С. 14—25.

*ZHDANOVICH V. P., PODOLYAK A. G., ARASTOVICH T. V., DEMIDOVICH S. A.,
ODINTSOVA L. E., IVASHKOVA I. I., POLOVKOV N. N.*

ACCUMULATION OF ^{137}CS AND ^{90}SR RADIO NUCLIDES BY LEGUMINOUS PLANTS OF VARIOUS KINDS

Summary

Decision of protein problem at territories polluted by radio nuclides as a result of the accident at Chernobyl NPP is not possible without increase of the sowing areas of leguminous plants (peas, lupine and soybean). Introduction of sorts having low level of accumulation of radio nuclides (peas — Aist, Agat, Gomelskaya; soybean — Mageva, Pina, Severnaya zvezda) into agriculture shall allow have agricultural production complying with demands: «Republican acceptable level of a content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in agricultural raw materials and forages» at arable lands at their higher density of radioactive pollution: ^{137}Cs — 925—1110 kBq/m² (25—30 Ci/km²) and ^{90}Sr 15—18 kBq/m² (0.40—0.50 Ci/km²).