

## ВЛИЯНИЕ НОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ И НАКОПЛЕНИЕ Cd, $^{137}\text{Cs}$ В УРОЖАЕ

*А.Н. Ратников, д.с.-х.н., Д.Г. Свириденко, к.б.н., Н.И. Санжарова, чл.-корр. РАН, Т.Л. Жигарева, к.с.-х.н., Г.И. Попова, к.б.н., К.В. Петров, О.Ю. Баланова, ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии*

*Представлены результаты вегетационных опытов по влиянию минеральных удобрений и новых комплексных удобрений Супродита и Супродита М на величину урожая ярового ячменя в условиях техногенного загрязнения почвы и изменение биологической доступности Cd и  $^{137}\text{Cs}$  растениям. Показано, что применение Супродита и Супродита М в условиях техногенного загрязнения серой лесной среднесуглинистой почвы обеспечивает наибольшую урожайность ячменя. Установлено, что содержание Cd и  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя при внесении Супродита и Супродита М снижается в 2,9-6,8 раза.*

*Ключевые слова: загрязнение почв, урожайность, яровой ячмень, минеральные удобрения, Супродит, Супродит М,  $^{137}\text{Cs}$ , кадмий, серая лесная почва.*

Загрязнение почв сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами (ТМ), радионуклидами, пестицидами, токсичными органическими соединениями приводит к увеличению их содержания в продукции растениеводства [1, 2]. Агрохимические приемы по повышению плодородия почв способствуют снижению подвижности загрязнителей в почве и, как следствие, уменьшению их перехода из почвы в растения [3,5,8,9]. Сокращение объема поставок минеральных и известковых удобрений может быть причиной снижения урожайности и увеличения накопления ТМ и радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур. Один из путей решения проблемы реабилитации загрязненных угодий – использование местных месторождений минерального сырья в качестве агроулучшителей и для производства новых видов комплексных удобрений. Разработка новых видов удобрений с использованием местного минерального сырья для реабилитации техногенно загрязненных угодий была начата во ВНИИСХРАЭ в 2005 г.

На основе трепела Зикеевского месторождения Калужской области разработано и произведено по специальной технологии (Патент на изобретение № 2336257) органоминеральное удобрение Супродит [11]. В 2008 г. было произведено новое органоминеральное удобрение Супродит М – сорбент-удобрение, состоящее из двух компонент: 1 - минеральная компонента – новый высокоселективный синтетический сорбент на основе трепела с закрепленными в кристаллической решетке эле-

ментами минерального питания растений – фосфором и калием, и обогащенная Mg, В и Мо; 2 - органическая компонента на основе торфа, содержащая азот и биологически активное вещество – гумат калия (Патент на изобретение № 2426711).

Органоминеральные комплексные удобрения пролонгированного действия Супродит и Супродит М прошли успешные производственные испытания в 2006-2012 гг. в хозяйствах различных форм собственности Калужской области, на разных типах почв, на зерновых культурах (ячмень, овес), картофеле, рапсе и многолетних сеяных травах. Имеются акты производственных испытаний Супродита на ячмене, овсе и картофеле в 2009-2011 гг. в Калужском НИИСХ и в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, в КФХ «Петухов» Бабынинского района, на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, в том числе в условиях загрязнения почв осадками сточных вод, содержащими ТМ (Cd, Zn, Ni, Pb). Было изучено влияние нового комплексного удобрения Супродит на продуктивность и переход  $^{137}\text{Cs}$  в луговую растительность при коренном улучшении лугов на дерново-подзолистой и торфяной почвах (Брянская область, плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$   $520 \pm 89$  кБк/м<sup>2</sup>; радиоактивно загрязненные районы Калужской области, плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$   $120 \pm 15$  кБк/м<sup>2</sup>).

Получены акты производственных испытаний Супродита М на зерновых культурах и картофеле на серых лесных и дерново-подзолистых почвах в 2010-2012 гг. в Калужском НИИСХ, в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, в КФХ «Петухов» Бабынинского района, в ОАО «Родина» Малоярославецкого района Калужской области.

Минералогический состав комплексного сорбента (%): содержание цеолита – 40, монтмориллонита – 10, мусковита – 9, кварца SiO<sub>2</sub> – 2, аморфных алюмосиликатов – 39.

Элементный состав комплексного удобрения Супродит М (%): N-11, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12, K<sub>2</sub>O-18, SiO<sub>2</sub>-11,4, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1,96, CaO-1,60, MnO-0,12, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,8, MgO-0,92, B-0,14, Mo-0,18, органическое вещество – 30-40.

При разработке удобрений принимали во внимание, что содержание питательных элементов должно соответствовать принятым дозам внесения промышленных

минеральных удобрений в зональных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Для повышения эффективности комплексного органоминерального удобрения пролонгированного действия Супродит М в него были внесены макро- и микроэлементы, необходимые при возделывании картофеля и кукурузы, как требуется по зональным технологиям.

**Методика.** Исследования проводили в серии вегетационных опытов в 2006-2012 гг. на серой лесной среднесуглинистой почве по общепринятой методике в сосудах, вмещающих 5 кг почвы. Эффективность комплексных удобрений Супродита, Супродита М и минеральных удобрений ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ) изучали на почве, загрязненной Cd и  $^{137}\text{Cs}$ . Агрохимические показатели серой лесной почвы до закладки опыта:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 5,9, содержание гумуса – 2,88%, гидролитическая кислотность – 0,87 мг-экв/100 г почвы, содержание подвижного фосфора и обменного калия 214 и 135 мг/кг почвы соответственно. Cd вносили в почву в виде сульфата в концентрации 10 и 50 мг/кг почвы. Радионуклид вносили в виде  $^{137}\text{CsCl}$  в количестве  $6,7 \cdot 10^4$  Бк/кг почвы. Питательные элементы применяли из расчета 0,75 г N, 0,8  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 1,2 г  $\text{K}_2\text{O}$  на сосуд, согласно соотношению этих элементов в Супродите М. Влажность почвы в сосудах в течение вегетации растений поддерживали на уровне 60% от полной капиллярной влагоемкости. Повторность опытов 4-кратная. Культура – яровой ячмень, сорт Нур.

Агрохимические показатели почвы определяли по следующим методикам: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); pH солевой вытяжки – потенциометрическим методом (ГОСТ 2642385), гидролитическую кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91), обменных кальция и магния – комплексометрическим методом (ГОСТ 26487-85). Валовое содержание в почве и концентрацию Cd в растениях определяли по методике ЦИНАО [7]. Для оценки подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в почве применяли метод последовательных вытяжек: 1н.  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  pH 7,0 (обменная форма); 1н.  $\text{HCl}$  (подвижная форма); 3н.  $\text{HCl}$  (прочносвязанная форма) при соотношении Т : Ж=1:10 [10]. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве, растительном материале и в растворах измеряли методом полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием детектора из сверхчистого германия (HPGe, ORTEC) и анализатора спектра IN 1200 (INTERTECHNIQUE). После уборки урожая отбирали образцы почвы для установления потенциальной активности дыхания и денитрификации. Показатели микробиологической активности почвы определяли по методике МГУ [12]. Результаты проведенных экспериментов обрабатывали с использованием пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 2007.

**Результаты и их обсуждение.** Внесение в почву Cd в концентрации 10 мг/кг привело к снижению урожая зерна ячменя от 10 до 50% в зависимости от агрофона по сравнению с почвой без токсиканта. Наибольшее отрицательное влияние Cd на рост, развитие и формирование продуктивности ячменя отмечено в варианте без удобрений, особенно при высоком уровне содержания (50 мг Cd/кг почвы): потери урожая зерна 65%.

Применение новых комплексных удобрений Супродита и Супродита М, обладающих сорбционными свойствами по отношению к токсиканту, ингибирует фитотоксичность Cd. Урожайность ячменя при внесении Супродита в почву, содержащую  $\text{Cd}_{10}$ , снижается на 17%.

При внесении Супродита в почву с концентрацией Cd 50 мг/кг урожай зерна на 40% ниже, чем на незагрязненной почве (табл. 1). Максимальный положительный эффект по снижению отрицательного действия Cd на урожайность ячменя получен в вариантах с Супродитом М. При внесении Супродита М в почву, загрязненную  $\text{Cd}_{10}$ , урожай зерна ячменя снизился на 10%, а в варианте с концентрацией  $\text{Cd}_{50}$  – на 30%. Использование Супродита М при одинаковом уровне загрязнения почвы Cd позволило снизить потери урожая зерна на 41-86% по сравнению с внесением в почву промышленных минеральных удобрений. Эффективность Супродита М в снижении фитотоксичности Cd при концентрации 10 мг/кг почвы на 24%, а при концентрации 50 мг/кг на 34% выше, чем Супродита. Продуктивность ярового ячменя на незагрязненной Cd почве при внесении промышленных минеральных удобрений на 11% выше, чем в варианте без удобрений. Применение Супродита способствовало увеличению урожайности ячменя на 27%. Максимальная прибавка урожая зерна получена при внесении Супродита М и превышала контроль на 45% (см. табл. 1).

**1. Продуктивность ячменя и накопление Cd в зерне на серой лесной среднесуглинистой почве (вегетационный опыт)**

Вариант опыта	Масса, г/сосуд		Содержание Cd в зерне, мг/кг	Вынос Cd с зерном, г/сосуд, $10^{-3}$
	зерно	солома		
Контроль (без удобрений)	10,5	15,2	0,008±0,001	0,084
$\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,16}\text{K}_{0,24}$	11,7	29,3	0,012±0,002	0,140
Супродит М	15,2	32,5	0,012±0,002	0,182
Супродит	13,3	28,8	0,014±0,003	0,186
Без удобрений + Cd, 10 мг/кг почвы	5,2	13,9	1,77±0,15	9,19
$\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,16}\text{K}_{0,24} + >>>$	9,7	27,4	1,06±0,11	10,25
Супродит М + >>>	13,7	28,7	0,38±0,09	5,16
Супродит + >>>	11,0	28,5	0,52±0,08	5,74
Без удобрений + Cd, 50 мг/кг почвы	3,6	12,7	4,27±0,19	15,36
$\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,16}\text{K}_{0,24} + >>>$	5,7	27,0	2,54±0,13	14,47
Супродит М + >>>	10,6	29,4	0,98±0,09	10,36
Супродит + >>>	7,9	26,9	1,48±0,11	11,72
$\text{HCP}_{05}$	1,6	1,8		

Благодаря высокой удельной поверхности минералов комплексных сорбентов в составе Супродита и Супродита М, загрязняющие вещества в почве (ТМ, радионуклиды) переводятся в менее подвижное состояние, усиливается их фиксация почвой, что приводит к ограничению перехода токсиканта из почвы в растения. Максимальное накопление Cd в зерне ячменя, выращенного на серой лесной среднесуглинистой почве, в вариантах без внесения удобрений: 1,77 мг/кг зерна при концентрации Cd 10 мг/кг почвы и 4,27 мг/кг зерна при концентрации Cd 50 мг/кг почвы. При внесении промышленных минеральных удобрений в почву с концентрацией Cd 10 мг/кг содержание токсиканта в зерне ячменя снижается в 1,7 раза (см. табл. 1). Такой же эффект получен на фоне НРК при концентрации Cd 50 мг/кг почвы. Внесение Супродита и Супродита М в почву, загрязненную  $\text{Cd}_{10}$ , способствует снижению на-

копления ТМ в зерне ячменя в 3,4-4,7 раза. Максимальный положительный эффект по ограничению поступления Cd из почвы в растения отмечается при использовании Супродита М. Накопление Cd в зерне ячменя на почве, загрязненной Cd<sub>50</sub>, при внесении Супродита М в 4,4 раза ниже, чем в варианте без удобрений. Содержание Cd в урожае при внесении Супродита в почву с концентрацией 50 мг/кг снижается в 2,9 раза. Эффективность Супродита М по снижению перехода Cd из загрязненной почвы в растения при одинаковом уровне загрязнения в 2,6-2,8 раза выше, чем в варианте с промышленными минеральными удобрениями (см. табл. 1). Внесение минеральных удобрений при выращивании ячменя на серой лесной почве приводит к увеличению выноса Cd с зерном в 1,1 раза. Вынос Cd с урожаем зерна снижается при внесении Супродита и Супродита М в загрязненную Cd<sub>10</sub> почву в 1,6-1,8 раза, а на почве с концентрацией Cd<sub>50</sub> – в 1,3-1,5 раза.

Загрязнение серой лесной почвы Cd негативно действует на интенсивность протекающих в ней микробиологических процессов, характеризующих уровень почвенного плодородия, таких как активность уровня дыхания почвы и почвенной денитрификации. Интенсивность дыхания почвы характеризует процессы минерализации органического вещества.

В фазе полной спелости ячменя потенциальная активность дыхания почвы, загрязненной Cd<sub>10</sub>, на фоне минеральных удобрений снижается на 10%, а при концентрации Cd 50 мг/кг – на 37% по сравнению с незагрязненной почвой (табл. 2). Использование Супродита М на почве, загрязненной Cd<sub>10</sub>, вызывает снижение потенциальной активности дыхания на 22%. Скорость эмиссии CO<sub>2</sub> в почве с концентрацией Cd<sub>10</sub> при внесении Супродита М и промышленных минеральных удобрений практически одинакова. Уровень дыхания в почве при высокой концентрации Cd (50 мг/кг) в варианте с Супродитом М снижается на 30%. При внесении Супродита М в почву, загрязненную Cd<sub>50</sub>, потенциальная активность дыхания на 34% выше, чем при внесении минеральных удобрений.

## 2. Влияние Супродита и Супродита М на потенциальную активность дыхания и денитрификацию серой лесной среднесуглинистой почвы, загрязненной Cd

Вариант опыта	Активность, мг/кг почвы	
	дыхания, аС-СО <sub>2</sub>	денитрификации, аN-N <sub>2</sub> O
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub>	928,1	10,1
Супродит М	1109,0	11,1
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub> + Cd <sub>10</sub>	835,8	8,6
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub> + Cd <sub>50</sub>	580,9	6,6
Супродит М + Cd <sub>10</sub>	867,7	11,2
Супродит М + Cd <sub>50</sub>	778,3	10,0
НСР <sub>05</sub>	60,7	1,4

Применение промышленных минеральных удобрений на загрязненной Cd<sub>10</sub> почве вызывает снижение потенциальной активности денитрификации на 15%, а при концентрации Cd<sub>50</sub> – на 35% по сравнению с почвой, где токсикант не вносили. Непроизводительные потери азота в вариантах с Супродитом М сокращаются при высокой концентрации Cd (50 мг/кг почвы) на 10%. Потенциальная активность денитрификации при одинаковом уровне загрязнения почвы Cd при внесении Супродита М на 30-52% выше, чем при использовании промышленных минеральных удобрений (см. табл. 2).

Внесение Супродита и Супродита М в почву на ра-

диоактивно загрязненной территории оказывает влияние на агрохимические показатели почвы (табл. 3) и приводит к увеличению емкости поглощения на 8-12%, и изменению форм нахождения <sup>137</sup>Cs в почве [11].

## 3. Влияние комплексных удобрений на агрохимические показатели почвы, загрязненной <sup>137</sup>Cs, после уборки урожая ярового ячменя

Вариант опыта	рН <sub>KCl</sub>	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Hg
			мг/кг почвы	мг/кг почвы	мг-экв./100 г почвы	мг-экв./100 г почвы	мг-экв./100 г почвы
Почва без удобрений + <sup>137</sup> Cs	5,8	2,8	192	113	11,4	1,07	0,93
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub> + <sup>137</sup> Cs	5,7	2,8	227	144	11,2	1,09	1,07
Супродит М + <sup>137</sup> Cs	5,8	2,8	248	155	12,5	1,45	0,97
Супродит + <sup>137</sup> Cs	5,7	2,8	238	139	12,1	1,20	1,12

Содержание обменного <sup>137</sup>Cs при внесении Супродита М уменьшилось в 2,8 раза, а в варианте с Супродитом – в 2,1 раза. При внесении Супродита и Супродита М количество подвижных форм <sup>137</sup>Cs в 1,9 раза ниже, чем на контроле (табл. 4). Применение Супродита и Супродита М приводит к более прочной фиксации <sup>137</sup>Cs почвой: содержание прочносвязанного <sup>137</sup>Cs возрастает по сравнению с контролем на 9,6-11,0%. Суммарное количество наиболее доступного для корневого усвоения <sup>137</sup>Cs растениями при внесении промышленных минеральных удобрений в 1,8-2,0 раза выше, чем в вариантах с использованием новых комплексных удобрений.

## 4. Формы содержания <sup>137</sup>Cs в почве после внесения минеральных и новых комплексных удобрений (вегетационный опыт 2011 г.)

Вариант опыта	<sup>137</sup> Cs, % от суммарного			
	1н. · Ac NH <sub>4</sub> обменная	1н. · HCl подвижная	3н. · HCl кислототвердимая	прочно фиксированная
Почва без удобрений + <sup>137</sup> Cs – контроль	10,1±0,5	9,5±0,4	5,4±0,3	75,0±2,8
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub> + <sup>137</sup> Cs	10,6±0,3	6,9±0,3	7,0±0,5	75,5±1,8
Супродит М + <sup>137</sup> Cs	3,6±0,1	5,0±0,2	7,9±0,5	83,5±3,1
Супродит + <sup>137</sup> Cs	4,7±0,2	5,1±0,5	8,0±0,6	82,2±2,2

Подвижность радионуклидов в почве определяет размеры их перехода в растения и накопление в урожае [4, 6]. Максимальное накопление <sup>137</sup>Cs в зерне в варианте без удобрений. Содержание <sup>137</sup>Cs в зерне ячменя при внесении Супродита М снижается в 5,9 раза (в год внесения). Эффективность Супродита по ограничению перехода <sup>137</sup>Cs из почвы в растения составляет 3,4 раза (табл. 5).

## 5. Влияние Супродита и Супродита М на накопление <sup>137</sup>Cs в зерне на серой лесной почве, Кн <sup>137</sup>Cs (Бк/кг зерна/Бк/кг почвы)

Вариант опыта	2011 г.		2012 г.	
	Масса зерна, г/сосуд	Кн <sup>137</sup> Cs, н · 10 <sup>-3</sup>	Масса зерна, г/сосуд	Кн <sup>137</sup> Cs, н · 10 <sup>-3</sup>
Почва без удобрений + <sup>137</sup> Cs – контроль	9,5	38±5,0	9,0	28,8±3,0
N <sub>0,15</sub> P <sub>0,16</sub> K <sub>0,24</sub> + <sup>137</sup> Cs	11,4	18±2,0	13,0	13,5±2,4
Супродит М + <sup>137</sup> Cs	15,5	6,5±1,3	14,2	4,2±1,0
Супродит	13,0	11±2,2	12,5	8,4±1,5
НСР <sub>05</sub>	1,3		1,1	

При внесении Супродита и Супродита М установлена положительная корреляция между Кн  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг зерна/Бк/кг почвы) в урожае и содержанием обменной формы ( $r=0,68$  и  $0,90$ ), а также между суммой обменной и подвижной форм ( $r=0,70$  и  $0,93$ ) радионуклида в почве. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в урожае ячменя при внесении промышленных минеральных удобрений снижается в 2,1 раза. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне при внесении Супродита и Супродита М в год их внесения в 1,6-2,8 раза ниже, чем в варианте с минеральными удобрениями. Положительный эффект Супродита и Супродита М по снижению поступления  $^{137}\text{Cs}$  из серой лесной почвы в ячмень проявился и на второй год опыта. Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  ячменем на фоне ежегодно вносимых промышленных минеральных удобрений в 1,8-3,7 раза выше, чем при однократном внесении новых комплексных удобрений. Через год после внесения Супродита и Супродита М в почву содержание  $^{137}\text{Cs}$  в урожае ячменя снижается в 3,2-6,8 раза по сравнению с контролем, т.е. наблюдается такая же закономерность, как и в год внесения. Эффективность Супродита М в повышении урожайности ячменя и снижения доступности для усвоения растениями выше, чем Супродита.

В результате проведенных исследований разработаны практические рекомендации по применению комплексных удобрений Супродит и Супродит М в посевах сельскохозяйственных культур. По технологиям применения комплексных удобрений получены четыре авторских свидетельства.

Супродит и Супродит М рекомендуют применять в дозах 800-1000 кг/га в качестве основного удобрения под различные сельскохозяйственные культуры: зерновые, картофель, овощи, многолетние и однолетние травы.

Удобрения пролонгированного действия вносят 1 раз в 2-3 года.

**Заключение.** Применение новых комплексных удобрений Супродита и Супродита М в условиях техногенного загрязнения серой лесной среднесуглинистой почвы обеспечивает наибольшую урожайность ярового ячменя и получение зерна с наименьшим со-

держанием Cd и  $^{137}\text{Cs}$ . Эффективность Супродита и Супродита М как в увеличении продуктивности ячменя, так и в ограничении поступления Cd и  $^{137}\text{Cs}$  из загрязненной почвы в растения выше, чем промышленных минеральных удобрений. Эффективность Супродита М по нейтрализации негативного влияния высоких концентраций Cd на показатели биологической активности почвы (в частности, на потенциальную активность дыхания и денитрификации почвы) существенно выше, чем минеральных удобрений.

#### Литература

1. *Агроэкология* // Под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса. - М.: Колос, 2000. - 536 с.
2. *Алексахин Р.М.* Научные основы ведения сельскохозяйственного производства на техногенно загрязненных территориях, обеспечивающего получение продукции, соответствующей нормативам. - Обнинск, 2004. - 110 с.
3. *Алексахин Р.М., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Жигарева Т.Л.* Реестр технологических приемов восстановления техногенно нарушенных сельскохозяйственных земель. - Обнинск, 2009. - 106 с.
4. *Бакунов Н.А., Юдинцева Е.В.* К вопросу о снижении накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях при обогащении почв природными сорбентами // *Агрохимия*. - 1989. - № 6. - С. 90-96.
5. *Жигарева Т.Л., Алексахин Р.М., Свириденко Д.Г., Ратников А.Н., Попова Г.И., Петров К.В.* Влияние природных мелиорантов и тяжелых металлов на урожай зерновых культур и микрофлору дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. - 2005. - № 11. - С. 60-65.
6. *Крыленкин Д.В., Санжарова Н.И., Гешель И.В., Андреева Н.В.* Накопление  $^{90}\text{Sr}$  в ячмене при внесении природных и искусственных сорбентов в дерново-подзолистую почву // *Агрохимический вестник*. - 2013. - № 6 - С. 20.
7. *Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства*. - М.: ЦИНАО, 1992. - 45 с.
8. *Обухов А.И., Плеханова И.О.* Детоксикация дерново-подзолистых почв, загрязненных тяжелыми металлами: теоретические и практические аспекты // *Агрохимия*. - 1995. - № 2. - С. 108-116.
9. *Овчаренко М.М., Бабкин В.В., Кирпичников Н.А.* Факторы почвенного плодородия и загрязнение продукции тяжелыми металлами // *Агрохимический вестник*. - 1998. - № 3. - С. 31-34.
10. *Павлюк Ф.И.* Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. - М.: Атомиздат, 1974. - 216 с.
11. *Петров К.В., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Жигарева Т.Л., Попова Г.И.* Супродит - новый сорбент-удобрение для техногенно загрязненных территорий // *Плодородие*. - 2010. - № 1. - С. 53-54.
12. *Практикум по агрохимии* // Под ред. В.Г. Минеева - М.: МГУ, 2001. - С. 301-320.

## EFFECT OF NEW COMPOUND FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY OF SPRING BARLEY AND THE ACCUMULATION OF Cd AND $^{137}\text{Cs}$ IN THE CROP

*A.N. Ratnikov, D.G. Sviridenko, N.I. Sanzharova, T.L. Zhigareva, G.I. Popova, K.V. Petrov, O.Yu. Balanova*  
*Russian Scientific Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology,*  
*Kievskoe sh. 109 km, Obninsk, Kaluga oblast, 249032 Russia*  
*e-mail: ratnikov@riar.obninsk.org*

*Pot experiments have been performed to study the effect of mineral fertilizers and the new compound fertilizers Suprodit and Suprodit M on the yield of spring barley under conditions of technogenic pollution of the soil, as well as changes in the biological availability of Cd and  $^{137}\text{Cs}$  to plants. The application of Suprodit and Suprodit M to a loamy gray forest soil under technogenic pollution ensures the highest yield of barley grain. It has been found that the content of Cd and  $^{137}\text{Cs}$  in barley grain decreases by 2.9–6.8 times at the application of Suprodit and Suprodit M.*

*Keywords: soil contamination, yield, spring barley, mineral fertilizers, Suprodit, Suprodit M,  $^{137}\text{Cs}$ , cadmium, gray forest soil.*