

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.811:633.1:539.16.04

**Н. Н. Цыбулько<sup>1</sup>, Д. В. Киселева<sup>2</sup>, И. И. Жукова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,  
г. Минск, Республика Беларусь;

<sup>2</sup>Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», г. Могилев, Республика Беларусь

## МИГРАЦИЯ <sup>137</sup>CS В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ АЗОТНОГО И КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ

### *Аннотация*

*В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs 10–20 Ки/км<sup>2</sup> и содержанием обменного калия 250–260 мг/кг почвы установлено, что применение калийных удобрений в дозе 90 кг/га приводит к уменьшению поступления <sup>137</sup>Cs в растения ячменя и озимой ржи. Более высокие уровни калийного питания (K120 и K150) не способствовали дальнейшему существенному снижению накопления <sup>137</sup>Cs. Азотные удобрения приводили к усилению миграции <sup>137</sup>Cs в системе «почва – растение». Наблюдалось более интенсивное поступление его в растения при дробном применении азотных удобрений. Отрицательное влияние возрастающих доз азота снижалось на фоне повышенных (K120) и высоких (K150) уровней применения калийных удобрений.*

*Ø Ключевые слова:* миграция, система почва – растение, <sup>137</sup>Cs, азот, калий, удобрения.

### *Введение*

Проблема снижения дозовых нагрузок на население наиболее актуальна в комплексе чернобыльских проблем и решается она главным образом системой защитных мер (контрмер) в сельскохозяйственном производстве, поскольку в условиях Беларуси около 70 % коллективной дозы формируется за счет поступления радионуклидов в организм с продуктами питания. По экспертным оценкам за послеаварийный период переход радиоцезия из почвы в продукцию снизился более чем на порядок и около 55 % снижения обусловлено проведением контрмер, а 45 % – природными факторами распада и фиксации почвой радионуклидов цезия.

Основным агрохимическим приемом, снижающим поступление <sup>137</sup>Cs в растения, является внесение калийных удобрений. Калий – химический аналог радиоцезия и конкурирует с ним в процессе корневого питания растений. Сокращение миграции <sup>137</sup>Cs в системе «почва – растение» при применении калийных удобрений связано, с одной стороны, с антагонистическим характером отношения цезия и калия в почвенном растворе, а с другой – с эффектом «разбавления» в надземной массе растений.

Принимая во внимание огромный объем экспериментальных данных по рассматриваемой проблеме, следует отметить, что существует ряд нерешенных вопросов. Один из них связан с применением минеральных азотных удобрений на загрязненных радионуклидами почвах. Установлено, что интенсивность поступления <sup>137</sup>Cs в растения зависит от режима азотного питания. Этот факт, обнаруженный еще в 50–60-е годы прошлого столетия, подтвердился и в более поздних исследованиях. Причины и механизмы воздействия азотных удобрений на

поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения до конца не изучены. В то же время установлена линейная зависимость между поступлением калия (предположительно и цезия) в растения и содержанием в них азота.

Усиление поглощения  $^{137}\text{Cs}$  при внесении азотных удобрений объясняется увеличением количества подвижного радионуклида в почве под влиянием гидратированных ионов аммония, имеющих с радиоцезием сходный по величине ионный радиус, и способных вытеснять его из мест сорбции [1–3]. Однако и  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{K}^+$  десорбируют  $^{137}\text{Cs}$  как с поверхности почвенных частиц, так и с поверхности корней, но при этом применение калия способствует многократному снижению содержания радиоцезия в растениях [4–6], а при применении азота – увеличению.

С другой стороны, внесение нитратной формы азота также усиливает поглощение  $^{137}\text{Cs}$  растениями, хотя и в меньшей степени (в среднем в 2 раза), чем внесение азота в аммиачной форме. Этот факт плохо согласуется со стимуляции притока калия и других катионов (в том числе и  $^{137}\text{Cs}$ ) в растения на фоне  $\text{NO}_3^-$ .

Существует также предположение, согласно которому увеличение поступления  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения может происходить в результате сдвига в соотношениях элементов в почвенном растворе при внесении азотных удобрений [3]. Однако до сих пор это предположение не было подтверждено или опровергнуто в опубликованных исследованиях. Из результатов, полученных некоторыми авторами, можно увидеть, что азотные удобрения обладают мобилизирующим действием на  $^{137}\text{Cs}$  почвы [7], однако механизмы такой мобилизации этими авторами не обсуждаются.

Введены ограничения на использование азотных удобрений на загрязненных почвах, определены максимально допустимые их дозы в зависимости от видовых особенностей растений [8]. Рекомендуется применять нитратные формы азотных удобрений до посева в сочетании с повышенными дозами фосфорных и калийных удобрений [9, 10], а также медленнодействующие удобрения, снижающие загрязнение урожая  $^{137}\text{Cs}$ .

Наряду с вопросами снижения загрязнения растениеводческой продукции актуальным является повышение эффективности ее производства. Сохраняющаяся необходимость проведения масштабных контрмер негативно отражается на конкурентоспособности производимой продукции. В определенной степени это объясняется тем, что дорогостоящие защитные меры (известкование кислых почв, внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений) применяются на фоне низких уровней азотных удобрений, что приводит к несбалансированности между элементами минерального (NPK) питания растений, снижению урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции.

Цель настоящей работы – изучить параметры перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в товарную продукцию зерновых культур в зависимости от азотного и калийного питания растений и определить оптимальные уровни азотных и калийных удобрений, обеспечивающие минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в товарной части урожая, и наиболее эффективное их применение.

### **Объекты и методы исследований**

Исследования проводили в 2006–2007 гг. в полевом опытном стационаре, расположенном на территории землепользования СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области. Объектом исследований являлась дерново-подзолистая супесчаная почва на водноледниковых рыхлых супесях, подстилаемых песками с глубины 0,3 м и моренными суглинками с глубины 0,7 м.

Агрохимические показатели почвы (Ап): рНКС1 – 5,74–6,24; содержание гумуса – 1,71–2,34 %, общего азота – 960–1000 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 241–305 мг/кг, обменного калия – 213–294 мг/кг почвы. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве составляла 1665–2192 Бк/кг, плотность загрязнения почвы – 13,5–17,8 Ки/км<sup>2</sup>.

Исследования проводились в звене зернового севооборота. Схема опыта включала 16 вариантов с разными дозами и сроками внесения азотных удобрений на фоне возрастающих уровней калийного питания растений (табл. 1). Общая площадь делянок 72 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 45 м<sup>2</sup>. Повторность опыта – четырехкратная. В 2006 г. возделывался яровой ячмень (сорт Тюрингия), в 2007 г. – озимая рожь (сорт Игуменская).

Фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные (калий хлористый) удобрения вносили перед посевом культур. Азотные удобрения вносили в форме карбамида (мочевина):

под озимую рожь – N<sup>I</sup> – в период возобновление весенней вегетации посевов, N<sup>II</sup> – в фазу выхода в трубку растений; под ячмень – N<sup>I</sup> – перед посевом; N<sup>II</sup> – в фазу выхода в трубку растений.

Удельную активность <sup>137</sup>Cs в почвенных и растительных образцах определяли на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315. В пахотном горизонте почвы определяли: содержание гумуса по ГОСТ 26213-84, N<sub>общ</sub> – по ГОСТ 26107-84, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O – по ГОСТ 26207-84.

Полученные данные обрабатывали статистическими методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (MS Excel 7.0, Statistic 7.0).

### Результаты и их обсуждение

В стационарном полевом опыте на окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве изучено действие разных уровней азотного и калийного питания на поступление <sup>137</sup>Cs в растения ячменя и озимой ржи. В результате исследований установлены закономерности перехода радиоцезия из почвы в растения при сочетании разных доз азотных и калийных удобрений.

При возделывании ячменя в варианте без удобрений (контроль) и при внесении Р60К90 удельная активность <sup>137</sup>Cs в зерне ячменя составляла 7,5 Бк/кг, а на фоне Р60К120 снизилась до 6,3 Бк/кг. Применение более высокой дозы калийных удобрений (К150) не способствовало дальнейшему снижению поступления <sup>137</sup>Cs в зерно ячменя (рис. 1).

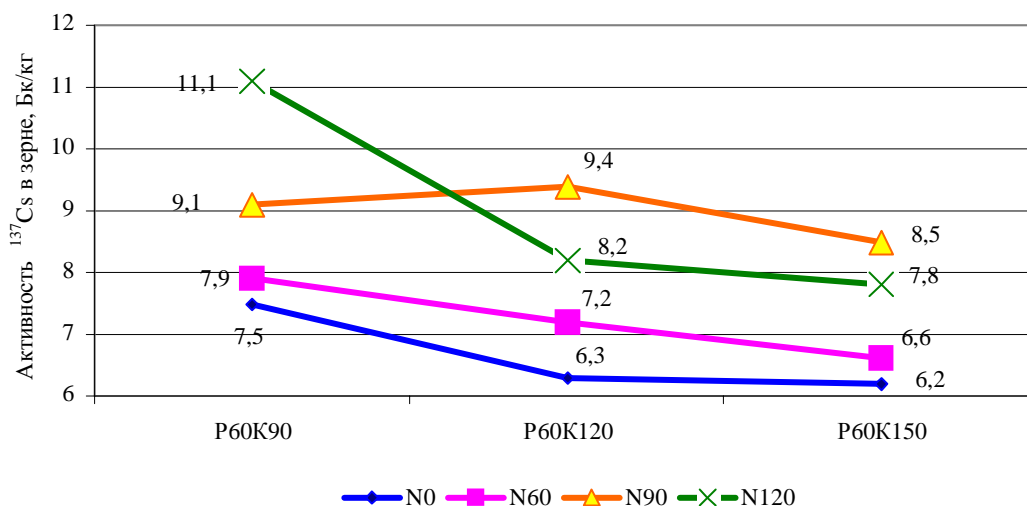


Рис. 1. Влияние уровней азотного и калийного питания на накопление <sup>137</sup>Cs в зерне ячменя

Изучение азотных удобрений показало, что с увеличением их доз наблюдается более интенсивное накопление радиоцезия в растениях. Так, при активности <sup>137</sup>Cs в зерне на фоне Р60К90 7,5 Бк/кг с повышением доз азота от 60 до 120 кг/га она возросла с 7,9 до 11,1 Бк/кг. На фонах с более высокими уровнями применения калия (К120 и К160) отрицательное воздействие азотных удобрений снижалось. Так, активность <sup>137</sup>Cs в зерне была практически одинаковой (7,8–7,9 Бк/кг) при внесении N60 на фоне Р60К90 и N120 – на фоне Р60К150.

Установлено [8, 11], что ячмень характеризуется более высокими параметрами перехода радионуклидов по сравнению с озимой рожью. В наших исследованиях в связи со сложившимися метеорологическими условиями 2007 года активность <sup>137</sup>Cs в зерне озимой ржи была несколько выше, чем в зерне ячменя, возделываемого в 2006 году.

Воздействие разных уровней азотного и калийного питания на поступление <sup>137</sup>Cs в растения озимой ржи подчинялось практически тем же закономерностям, что и в растения ячменя. При внесении Р60К90 удельная активность <sup>137</sup>Cs в зерне составляла 9,3 Бк/кг, на фоне Р60К120 снизилась незначительно, а на фоне Р60К150 составила 8,0 Бк/кг (рис. 2).

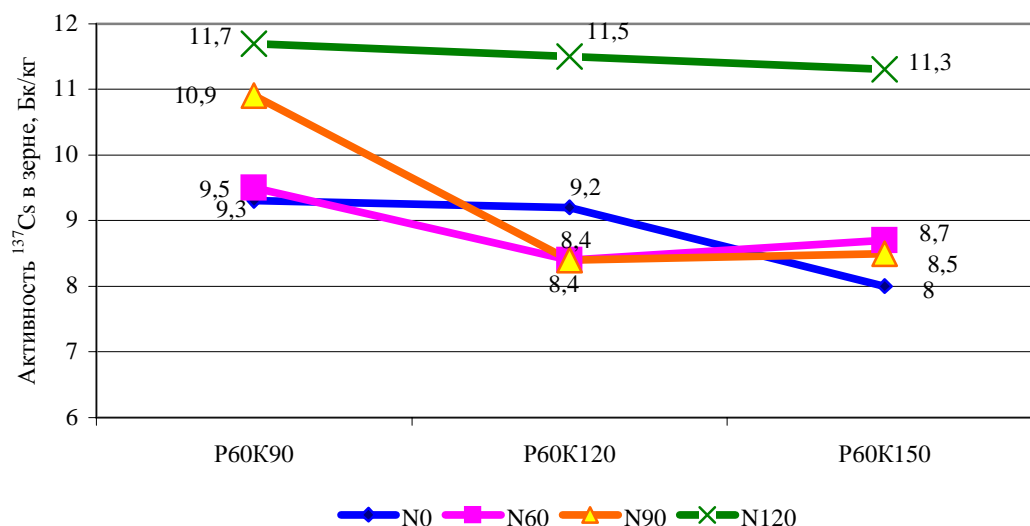


Рис. 2. Влияние уровней азотного и калийного питания на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне озимой ржи

С увеличением доз азотных удобрений наблюдалось более интенсивное поступление радиоцезия в растения. Так, на фоне P60K90 содержание радионуклида в зерне составляло 9,3 Бк/кг, с повышением доз азота от 60 до 120 кг/га возросло с 9,5 до 11,7 Бк/кг.

На фоне с применением калия в дозе 120 кг/га отрицательное воздействие азотных удобрений на озимую рожь снижалось, а при более высоком уровне внесения калийных удобрений (K150) не наблюдалось дальнейшего положительного влияния калия. Так, удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в зерне была практически одинаковой (8,4–8,7 Бк/кг) при внесении N60 и N90 на фоне P60K120 и на фоне P60K150.

Нашими исследованиями установлено, что дробное применение азотных удобрений усиливает поступление радиоцезия в растения ячменя и озимой ржи. Так, при внесении на фонах P60K90, P60K120 и P60K150 перед посевом ячменя 90 кг/га азота содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне составило соответственно 8,2, 7,9 и 5,9 Бк/кг, а при дробном применении этой же дозы (N60 – перед посевом + N30 – в начале фазы выхода в трубку растений) – 10,0, 10,9 и 11,1 Бк/кг, соответственно (рис. 3).

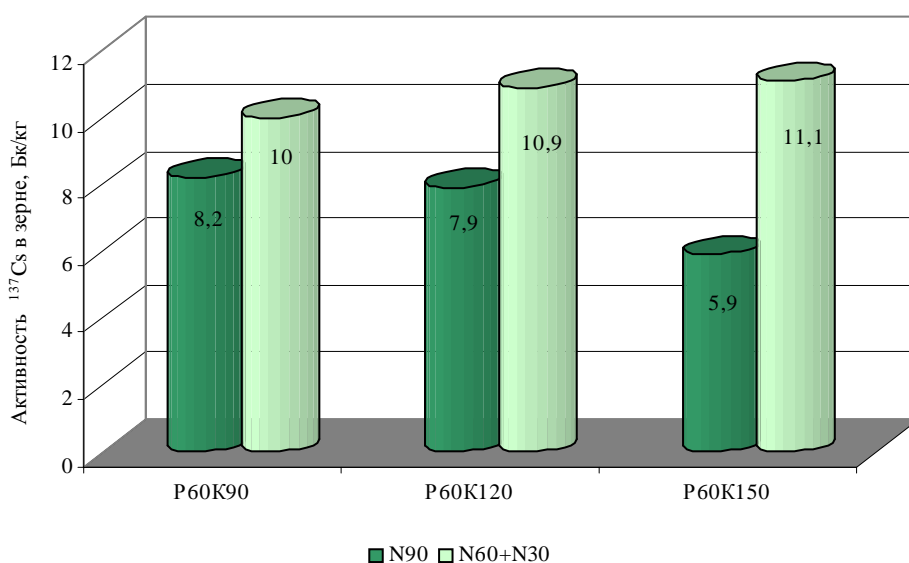


Рис. 3. Влияние дробного внесения азотных удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя

В исследованиях с озимой рожью прослеживалась аналогичная закономерность. При внесении в период возобновления посевом весенней вегетации 90 кг/га азота на фонах P60K90, P60K120 и P60K150 содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне составило соответственно 10,9, 7,1 и 8,3 Бк/кг, при дробном применении этой же дозы (N60 – в начале весенней вегетации посевом + N30 – в начале фазы выхода в трубку растений) – 13,1, 10,0 и 8,6 Бк/кг, соответственно (рис. 4).

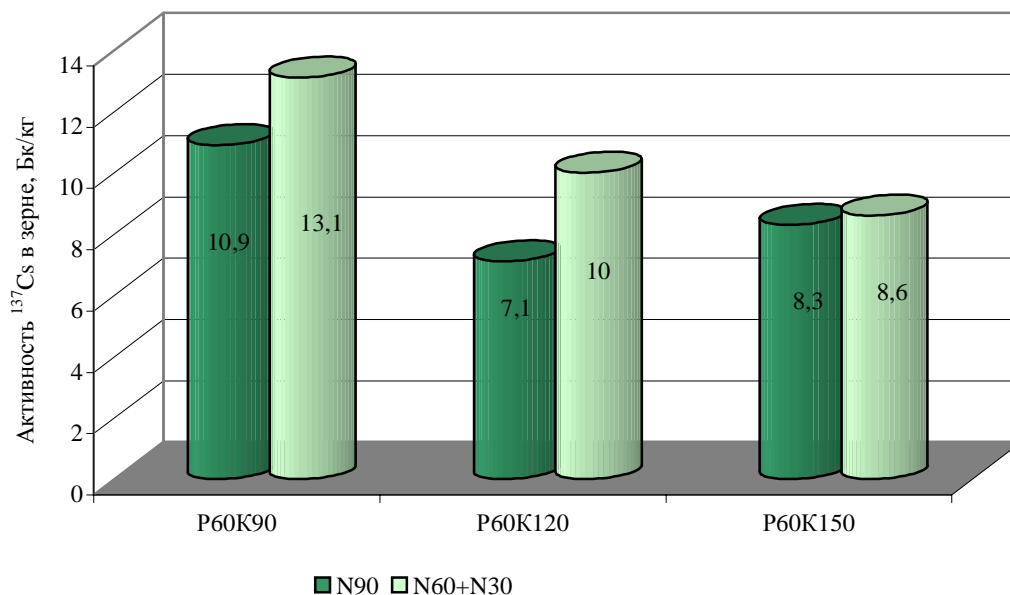


Рис. 4. Влияние дробного внесения азотных удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зерне озимой ржи

Количественной мерой поступления радионуклидов из почвы в пищевые цепи служит коэффициент перехода или пропорциональности ( $K_n$ ), представляющий отношение удельной активности радионуклида в продукции (зерно, сено, зеленая масса, молоко, мясо и т. д.) к плотности загрязнения почвы. В табл. 1 приведены коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в товарную продукцию (зерно) ячменя и озимой ржи в зависимости от уровней азотного и калийного питания растений. Они колеблются в зависимости от уровней фосфорного и калийного питания, доз и сроков применения азотных удобрений: на ячмене – от 0,010 до 0,019, на озимой ржи – от 0,11 до 0,021, то есть различия составляют 1,9 раза.

Таблица 1

Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно ячменя и озимой ржи в зависимости от уровней азотного и калийного питания растений

Вариант опыта	Коэффициент перехода $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг : кБк/м <sup>2</sup>	
	ячмень	озимая рожь
1. Контроль – без удобрений	0,011	0,015
2. Фон 1 – P60K90	0,013	0,015
3. Фон 1 + N60 <sup>I</sup>	0,015	0,018
4. Фон 1 + N90 <sup>I</sup>	0,016	0,019
5. Фон 1 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,013	0,020
6. Фон 1 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,019	0,021
7. Фон 2 – P60K120	0,014	0,013
8. Фон 2 + N60 <sup>I</sup>	0,013	0,014
9. Фон 2 + N90 <sup>I</sup>	0,016	0,015

Вариант опыта	Коэффициент перехода $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг : кБк/м <sup>2</sup>	
	ячмень	озимая рожь
10. Фон 2 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,019	0,016
11. Фон 2 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,016	0,019
12. Фон 3 – P60K150	0,012	0,011
13. Фон 3 + N60 <sup>I</sup>	0,012	0,012
14. Фон 3 + N90 <sup>I</sup>	0,010	0,014
15. Фон 3 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,018	0,015
16. Фон 3 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	0,014	0,017

Научно обоснованное применение удобрений предусматривает оптимизацию корневого питания растений с помощью агроприемов, направленных на повышение урожайности и снижение поступления радионуклидов в продукцию за счет применения сбалансированных по элементам питания доз удобрений. Среди макроэлементов, потребляемых растениями, наибольшее значение имеет азот.

В результате исследований установлено влияние доз и сроков применения азотных удобрений на продуктивность зерновых культур в зависимости от уровней калийного питания.

При возделывании ячменя в варианте без удобрений получена урожайность зерна 24,7 ц/га. Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P60K90 обеспечило прибавку 6,6 ц/га, а при более высоких дозах (P60K120 и P60K150) – 8,5 и 8,9 ц/га соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Продуктивность ячменя, ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка к фону РК, ц/га	Окупаемость удобрений прибавкой зерна, кг/га		
				РК	N	НРК
1. Контроль – без удобрений	24,7	–	–	–	–	–
2. Фон 1 – P60K90	31,3	6,6	–	4,4	–	–
3. Фон 1 + N60 <sup>I</sup>	45,4	21,1	14,1	–	23,5	10,0
4. Фон 1 + N90 <sup>I</sup>	49,0	24,3	17,7	–	19,7	10,1
5. Фон 1 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	49,8	25,1	18,5	–	20,6	10,5
6. Фон 1 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	50,1	25,4	18,8	–	15,7	9,4
7. Фон 2 – P60K120	33,2	8,5	–	4,7	–	–
8. Фон 2 + N60 <sup>I</sup>	49,6	24,9	16,4	–	27,3	10,4
9. Фон 2 + N90 <sup>I</sup>	51,5	26,8	18,3	–	20,3	9,9
10. Фон 2 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	51,7	27,0	18,5	–	20,6	10,0
11. Фон 2 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	53,0	28,3	19,8	–	16,5	9,4
12. Фон 3 – P60K150	33,6	8,9	–	4,2	–	–
13. Фон 3 + N60 <sup>I</sup>	49,8	25,1	16,2	–	27,0	9,3
14. Фон 3 + N90 <sup>I</sup>	51,1	26,4	17,5	–	19,4	8,8
15. Фон 3 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	53,4	28,7	19,8	–	22,0	9,6
16. Фон 3 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	54,9	30,2	21,3	–	17,8	9,1
НСР <sub>05</sub>	2,7	–	–	–	–	–

Азотные удобрения способствовали более существенному росту продуктивности ячменя. Предпосевное применение азота в дозе 60 кг/га д.в. обеспечило прибавку зерна, равную 21,1 ц/га к контролю и 14,1 ц/га к фону Р60К90. С увеличением дозы предпосевого внесения азотных удобрений до 90 кг/га наблюдался рост урожайности, которая составила 49,0 ц/га (прибавка к контролю – 24,3 ц/га, к фону Р60К90 – 17,7 ц/га).

Дробное применение 90 кг/га азотных удобрений (N60 – перед посевом + N30 – в фазу выхода в трубку) было более эффективным по сравнению с однократным внесением. Увеличенные дозы азотных удобрений до 120 кг/га не способствовало дальнейшему достоверному росту продуктивности.

На более высоких уровнях калийного питания (K120 и K150) эффективность азотных удобрений была более высокой. Одинаковые дозы и сроки внесения азота обеспечили прибавки по отношению к фону Р60К90 на фоне Р60К120 1,9–3,8 ц/га зерна, на фоне Р60К150 – 2,5–4,8 ц/га.

Окупаемость фосфорных и калийных удобрений по всем уровням была практически одинаковой – 4,2–4,7 кг зерна. Азотные удобрения наибольшую окупаемость обеспечили при предпосевном внесении N60, которая составила от 23,5 (на фоне Р60К90) до 27,3 кг зерна (на фоне Р60К150).

В целом на ячмене наилучшую окупаемость полного минерального удобрения обеспечили варианты N60P60K90, N90P60K90, N60+30P60K90, N60P60K120, N60+30P60K120, которая составила 10,0–10,5 кг зерна. При более высокой дозе внесения калийных удобрений окупаемость NPK снижалась.

При возделывании озимой ржи в варианте без удобрений получена урожайность зерна 29,4 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения в дозах Р60К90 и Р60К120 обеспечили одинаковые прибавки 6,0–6,1 ц/га, более высокие дозы Р60К150 – 7,6 ц/га (табл. 3).

Таблица 3

Продуктивность озимой ржи, ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка к фону РК, ц/га	Окупаемость удобрений прибавкой зерна, кг/га		
				РК	N	NPK
1. Контроль – без удобрений	29,4	–	–	–	–	–
2. Фон 1 – Р60К90	35,4	6,0	–	4,0	–	–
3. Фон 1 + N60 <sup>I</sup>	47,3	17,9	11,9	–	19,8	8,5
4. Фон 1 + N90 <sup>I</sup>	50,2	20,8	14,8	–	16,4	8,7
5. Фон 1 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	54,3	24,9	18,9	–	21,0	10,4
6. Фон 1 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	57,3	27,9	21,9	–	18,2	10,3
7. Фон 2 – Р60К120	35,5	6,1	–	3,4	–	–
8. Фон 2 + N60 <sup>I</sup>	47,4	18,0	11,9	–	19,8	7,5
9. Фон 2 + N90 <sup>I</sup>	50,8	21,4	15,3	–	17,0	7,9
10. Фон 2 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	55,2	25,8	19,7	–	21,9	9,5
11. Фон 2 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	57,9	28,5	22,4	–	18,7	9,5
12. Фон 3 – Р60К150	37,0	7,6	–	3,6	–	–
13. Фон 3 + N60 <sup>I</sup>	49,8	20,4	12,8	–	21,3	7,5
14. Фон 3 + N90 <sup>I</sup>	51,6	22,2	14,6	–	16,2	7,4
15. Фон 3 + N60 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	57,1	27,7	20,1	–	22,3	9,2
16. Фон 3 + N90 <sup>I</sup> + N30 <sup>II</sup>	57,8	28,4	20,8	–	17,3	8,6
НСР <sub>05</sub>	2,9	–	–	–	–	–

Азотные удобрения способствовали более существенному росту продуктивности озимой ржи. Внесение в период возобновления весенней вегетации посевов азота в дозе 60 кг/га д.в. обеспечило прибавку 17,9 ц/га зерна к контролю и 11,9 ц/га к фону Р60К90. С увеличением дозы азотной подкормки до 90 кг/га наблюдался рост урожайности, которая составила 50,2 ц/га (прибавка к контролю – 20,8 ц/га, к фону Р60К90 – 14,8 ц/га).

Дробное применение 90 кг/га азотных удобрений (N60 – при возобновлении весенней вегетации посевом + N30 – в фазу выхода в растений трубку) было более эффективным по сравнению с однократным внесением – прибавка зерна составила 4,1 ц/га. При увеличении дозы дробного внесения азота до 120 кг/га увеличение урожайности составило 3,0 ц/га по отношению к варианту с дробным применением 90 кг/га азота.

На фоне Р60К120 прибавки зерна озимой ржи от азотных удобрений были незначительно выше, чем на фонах Р60К90 и Р60К120 – на 0,5–0,8 и 0,9–1,2 ц/га.

Окупаемость фосфорных и калийных удобрений по всем уровням была практически одинаковой – 3,4–4,0 кг зерна. Наибольшая окупаемость азотных удобрений получена при дробном внесении 90 кг/га азота (N60 – в период возобновления весенней вегетации посевов + N30 – в фазу выхода растений в трубку) на фоне Р60К150 и составила от 22,3 кг зерна.

В целом наилучшую окупаемость полного (NPK) минерального удобрения (10,4 кг зерна) обеспечил вариант с дробным применением 90 кг/га азота (N60 – в период возобновления весенней вегетации посевов + N30 – в фазу выхода растений в трубку) на фоне Р60К90. При более высоких дозах калийных удобрений окупаемость NPK снижалась.

### **Выводы**

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  10–20 Ки/км<sup>2</sup> и повышенным содержанием (201–300 мг/кг почвы) обменного калия в пахотном горизонте применение калийных удобрений в дозе 90 кг/га действующего вещества приводит к уменьшению поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения ячменя и озимой ржи. Более высокие уровни применения калия (K120 и K150) не способствовали дальнейшему существенному снижению перехода радиоцезия из почвы в растения.

2. Азотные удобрения приводили к усилению миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва – растение». Наблюдалось увеличение поступления радиоцезия в растения ячменя и озимой ржи при дробном применении азотных удобрений. Отрицательное влияние возрастающих доз азота на переход  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения снижалось на фоне повышенных (K120) и высоких (K150) доз калийных удобрений.

3. На ячмене наиболее высокую окупаемость полного минерального удобрения (10,0–10,5 кг зерна) обеспечили варианты N60P60K90, N90P60K90, N60+30P60K90, N60P60K120, N60+30P60K120. При более высокой дозе калия окупаемость NPK снижалась.

4. На озимой ржи наилучшую окупаемость полного минерального удобрения (10,4 кг зерна) обеспечил вариант с дробным применением 90 кг/га азота (N60 – в период возобновления весенней вегетации посевов + N30 – в фазу выхода в трубку растений) на фоне Р60К90. При более высоких дозах калийных удобрений окупаемость NPK снижалась.

### **Список литературы**

1. Радиоактивность и пища человека // под ред. Р. С. Рассела; пер. с англ., под ред. В. М. Ключковского. – М. : Атомиздат, 1971.

2. Алексахин, Р. М. Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва – растение» и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – № 8. – С. 127–138.

3. Моисеев, И. Т. К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность  $^{137}\text{Cs}$  из почвы сельскохозяйственными растениями / И. Т. Моисеев, Л. А. Рерих, Ф. А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1986. – № 2. – С. 89.

4. Бакунов, Н. А. Влияние свойств почв и почвообразующих минералов на поступление цезия-137 в растения: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. А. Бакунов; ТСХА. – М., 1967. – 19 с.

5. Гулякин, И. В. Сельскохозяйственная радиобиология / И. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева – М. : Колос, 1973. – 272 с.



6. Юдинцева, Е. В. О роли калия в доступности  $^{137}\text{Cs}$  растениям / Е. В. Юдинцева, Э. М. Левина // *Агрохимия*. – 1982. – № 4. – С. 75–81.
7. К оценке влияния минеральных удобрений на динамику обменного  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и доступность его овощным культурам / И. Т. Моисеев [и др.] // *Агрохимия*. – 1988. – № 5. – С. 86–92.
8. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 72 с.
9. Снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных культурах под воздействие мелиорантов / В. К. Кузнецов [и др.] // *Агрохимия*. – 1995. – № 4. – С. 74–79.
10. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами на песчаных и супесчаных почвах Белорусского Полесья под влиянием различных мелиорантов / Н. И. Санжарова [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. – 1996. – № 5. – С. 55–60.
11. Агеец, В. Ю. Система радиэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В. Ю. Агеец. – Минск, 2001. – 168 с.

***N. N. Tsybulko, D. V. Kiseleva, I. I. Zhukova***

**$^{137}\text{CS}$  MIGRATION IN SYSTEM «SOIL – PLANT» DEPENDING ON LEVELS  
OF A NITRIC AND POTASH FEEDING**

In researches on sod-podsolic sandy soil with pollution density  $^{137}\text{Cs}$  10–20 Ci/km<sup>2</sup> and the maintenance exchange potash 250–260 mg/kg of soil we found out, that application of potash fertilizers in dose of 90 kg/ha leads to receipt reduction  $^{137}\text{Cs}$  in barley and a winter rye. Higher levels of a potash feeding (K120 and K150) did not promote the further essential decrease in accumulation  $^{137}\text{Cs}$ . Nitric fertilizers led to migration strengthening  $^{137}\text{Cs}$  in system «soil – plant». Its more intensive receipt in plants was observed at fractional application of nitric fertilizers. Negative influence of increasing doses of nitrogen decreased against raised (K120) and high (K150) levels of application of potash fertilizers.