

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
РУП «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ЗЕМЛЕДЕЛИЮ»

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ НАУЧНОЕ ДОЧЕРНЕЕ УНИТАРНОЕ  
ПРЕДПРИЯТИЕ «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»

Д 01.50.01

УДК 631.811.1.816+631.83+539.1.04+631.445.2

**КИСЕЛЕВА**  
Дина Владимировна

**ВЛИЯНИЕ ДОЗ И СРОКОВ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ  
ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ  
НА ПЕРЕХОД  $^{137}\text{Cs}$  В ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ И БАЛАНС АЗОТА  
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук  
по специальности 06.01.04 – агрохимия

Минск, 2011

Работа выполнена в Могилевском филиале Республиканского научно-исследовательского унитарного предприятия «Институт радиологии» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и УО «Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова» Министерства образования Республики Беларусь

Научный руководитель: **Цыбулько Николай Николаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель начальника Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС Республики Беларусь

Официальные оппоненты: **Семененко Николай Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник РУП «Институт мелиорации»

**Касьянчик Светлана Ананьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ученый секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси


Оппонирующая организация: УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

**Защита диссертации** состоится «15» декабря 2011 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.50.01 при РУП «Институт почвоведения и агрохимии» по адресу: ул. Казинца, 62, г. Минск, 220108, Республика Беларусь. Тел. (017) 278-65-76, факс: (017) 212-04-02, e-mail: brissa\_aspirant@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при РУП «Институт почвоведения и агрохимии».

Автореферат разослан «12» ноября 2011 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
кандидат сельскохозяйственных наук



М.М. Ломонос

## ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси в сельскохозяйственном пользовании находится более 1,0 млн. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 37 кБк/м<sup>2</sup> и выше. Почвенному плодородию принадлежит важнейшая роль в снижении поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры и пищевую цепочку. На низко плодородных песчаных и супесчаных почвах, которые преобладают в составе сельскохозяйственных земель на загрязненных территориях, накопление радионуклидов растениеводческой продукцией значительно выше, чем на суглинистых почвах. Основным агрохимическим приемом, снижающим аккумуляцию  $^{137}\text{Cs}$  в растениях, является внесение калийных удобрений.

Принимая во внимание огромный объем экспериментальных данных по рассматриваемой проблеме, следует отметить, что существует ряд нерешенных вопросов. Один из них связан с применением азотных удобрений на загрязненных радионуклидами почвах. Установлено, что увеличение перехода  $^{137}\text{Cs}$  в растения зависит от режима азотного питания. Причины и механизмы воздействия азотных удобрений на усиление поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения исследованы недостаточно. Требуется более детальное изучение влияния разных уровней применения азотных удобрений, соотношения азота и калия в почве на биологическую доступность радионуклидов на фоне достигнутых оптимальных агрохимических показателей почв и при проведении защитных мер. В связи с этим представляется актуальным исследование взаимосвязи минерализации–иммобилизации азота в почве, величины «экстра»-азота и поступления радионуклидов в растения.

Наряду с вопросами снижения загрязнения продукции, требуется дальнейшая научная проработка экономических аспектов применения удобрений на загрязненных землях, поскольку сохраняющаяся необходимость проведения масштабных контрмер негативно отражается на конкурентоспособности производимой продукции. В значительной мере это связано с тем, что дорогостоящие защитные меры применяются на фоне низких уровней азотных удобрений, приводя к несбалансированности между элементами минерального питания растений и снижению продуктивности сельскохозяйственных культур.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами.** В диссертационную работу вошли результаты исследований соискателя, выполненные в 2006-2008 гг. в соответствии с планом НИР Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии» в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006-2010 годы (№№ госрегистрации 2006466, 2007649, 2008484), а также результаты исследований, проведенных в 2006-2008 годах

по проекту фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Б06Р-039 «Регулирование миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва – растение»: роль углеродно-азотных и азотно-калийных соотношений» (№ госрегистрации 2006286).

Тема диссертации соответствует подпункту 8.6 «Защитные меры по преодолению отдаленных радиоэкологических и медико-биологических последствий чернобыльской катастрофы» Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 годы, утвержденного Постановлением Совета Министров от 17.05.2005 г., № 512.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – установить степень влияния азотных удобрений при разном уровне калийного питания на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры и разработать предложения по повышению эффективности применения азотных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве, обеспечивающие минимальное накопление радионуклида в продукции.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- изучить влияние доз и сроков применения азотных удобрений при разных уровнях калийного питания на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры;
- установить зависимости накопления  $^{137}\text{Cs}$  в продукции зерновых культур от соотношения азота и калия в почве и удобрении;
- определить количественные параметры мобилизации почвенного азота («экстра»-азота) при внесении азотных удобрений и воздействие «экстра»-азота на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения;
- оценить баланс азота в системе почва – растение в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений под зерновые культуры;
- изучить влияние доз и сроков применения азотных удобрений при разных уровнях калийного питания на продуктивность возделываемых культур;
- провести оценку экономической эффективности доз и сроков применения азотных удобрений при разных уровнях калийного питания.

Объект исследования – загрязненная  $^{137}\text{Cs}$  дерново-подзолистая супесчаная почва на водно-ледниковых рыхлых супесях и зерновые культуры: ячмень, озимая рожь и овес.

Предмет исследования – количественные параметры накопления  $^{137}\text{Cs}$  зерновыми культурами, абсолютные и относительные характеристики статей баланса азота удобрений в системе почва–растение.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Азотные удобрения усиливают миграцию  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение как напрямую, так и косвенно – в результате дополнительной мобилизации и поступления в растения почвенного азота. Дробное применение азота по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в продукции несущественно отличается от однократного внесения той же дозы. Минимальное накопление радионуклида наблюдается

при содержании общего азота в зерне ячменя 1,90-2,30%, озимой ржи – 1,50-1,60, овса – 1,50-1,70%.

2. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения зависит от соотношения азота и калия в почве и удобрения. Минимальное поступление радиоцезия в зерновые культуры отмечается при соотношении N : K в почве в диапазоне 1 : 3,8-4,2. С увеличением обеспеченности почвы подвижным калием агроэкологический оптимум содержания потенциально усвояемого азота в почве возрастает.

3. Урожайность ячменя и озимой ржи на 80-86% формируется за счет почвенного азота и на 14-20% – за счет азота удобрений. Азот удобрений используется растениями на 76-94% в начальный период вегетации – до фазы выхода в трубку. При дробном применении удобрений поступление азота в растения происходит более равномерно в течение вегетации – до фазы выхода в трубку растения ячменя поглощают 50-54%, растения озимой ржи – 64-68% внесенного азота.

4. В зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений коэффициенты использования азота колеблются от 29 до 41%. Дробное применение удобрений способствует повышению данного показателя на 6-8%. Чем выше величина потребления азота удобрений, тем меньше их относительные закрепление в почве и потери.

5. В цикле азотной трансформации закрепление азота в почве является ключевым процессом. В почвенном профиле иммобилизуется и фиксируется 21-40% азота удобрений, неиспользуемого растениями в первый год. Основное количество закрепленного азота концентрируется в пахотном слое. Закрепление азота способствует снижению его потерь, которые колеблются от 23 до 47%. Дробное применение азотных удобрений, по сравнению с однократным, снижает миграцию азота в подпахотные горизонты и потери на 5-6%.

**Личный вклад соискателя.** Все основные научные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. В публикациях [8, 10, 14, 15, 20], написанных в соавторстве, ему принадлежит определение параметров перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения в зависимости от уровней минерального питания. Диссертант участвовал в полевых и микрополевых опытах, в первичной обработке экспериментальных данных и интерпретации полученных результатов. В публикациях [13, 16, 17, 18], написанных в соавторстве, диссертанту принадлежит расчет соотношений N : K в удобрениях и почве, определение интервалов оптимального содержания и запасов усвояемого и минерального азота в почве, обеспечивающих минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в продукции. В статьях [1, 2, 6, 7, 9] и публикациях [12, 19] диссертант произвел анализ баланса азота удобрений в системе почва-растения на основе совместных с Н.Н. Цыбулько и И.И. Жуковой результатах экспериментальных исследований и установил связь между накоплением  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и потреблением растениями «экстра»-азота почвы. В статьях [3, 4, 5] и публикации [11] диссертант выполнил оценку экономической эффективности

применения минеральных удобрений. Автор выражает признательность за оказанную помощь при подготовке диссертационной работы директору Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии» Т.П. Шапшеевой, сотрудникам С.С. Лазаревичу, О.А. Мерзловой, А.В. Ермоленко.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы докладывались автором на следующих научных конференциях: Международная научно-практическая конференция, посвященная 130-летию Я.Н. Афанасьева «Проблемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений» (Горки, 2007); V Международная научная конференция «Регуляция роста, развития и продуктивности растений» (Минск, 2007); III Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии – 2007» (Гродно, 2007); VIII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2008 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2008); Международная научно-практическая конференция «География в XXI веке: проблемы и перспективы развития» (Брест, 2008); Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Иванова С.Н. и 90-летию со дня рождения Кулаковской Т.Н., «Почва – удобрение – плодородие – урожай» (Минск, 2009).

Рекомендации производству по результатам исследований внедрены в СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области в 2008 году при возделывании озимой ржи на площади 309 га и ячменя на площади 165 га, в 2009 году – на площади 167 га и 239 га, соответственно. Суммарный экономический эффект от внедрения разработки составил 283,4 млн. рублей. Акт внедрения результатов исследований приведен в приложении к диссертации.

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе: в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РБ – 8 статей (3,8 авторских листа), статей в научных рецензируемых изданиях – 2; материалов конференций – 8, тезисов докладов – 2. Общий объем опубликованных материалов составляет 5,4 авторских листа, лично автору принадлежит – 2,7.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, заключения, библиографического списка и приложений. Основная часть включает 5 глав: аналитический обзор литературы с обоснованием выбора направления исследований и изложения общей концепции работы; описание объектов, методов и условий проведения исследований; анализ и описание экспериментальных данных, полученных в полевых, микрополевых опытах и лабораторных исследованиях. Диссертация изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 28 таблиц (26 стр.), 30 рисунков (22 стр.), 24 приложения (25 стр.). Библиографический список включает 257 наименований (25 стр.), в том числе 20 – собственные публикации соискателя.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Аналитический обзор литературы

Обобщены литературные данные отечественных и зарубежных ученых по влиянию почвенных условий и агроприемов на биологическую доступность  $^{137}\text{Cs}$ . Подчеркнута роль калия в снижении миграции радиоцезия в системе почва–растение. Вместе с тем механизм действия азотных удобрений на интенсивность поступления радионуклида в растения до конца не установлен. Отмечается, что доступность  $^{137}\text{Cs}$  зависит от соотношения азота и калия в почве, поэтому требуется определение оптимальных соотношений N : K в почве, а также сбалансированного применения азотных и калийных удобрений под зерновые культуры на дерново-подзолистой супесчаной почве. Предполагается, что накопление  $^{137}\text{Cs}$  растениями на удобренных вариантах обусловлено усилением минерализации азота почвы, ведущей к увеличению запасов доступного растениям азота, сужению отношения N : K и высвобождению  $^{137}\text{Cs}$  из легко минерализуемых органических компонентов почвы, активизацией поглотительной деятельности корневой системы.

### Объекты, условия и методика проведения исследований

Исследования проводили в полевом и микрополевым опытах, расположенных на территории землепользования сельскохозяйственного производственного кооператива «Зарянский» Славгородского района Могилевской области.

Объектом исследований являлась дерново-подзолистая супесчаная почва на водно-ледниковых рыхлых супесях и зерновые культуры: ячмень, озимая рожь и овес. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 5,93, гумус – 2,03%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 218 мг/кг почвы,  $\text{K}_2\text{O}$  – 173 мг/кг почвы, общий азот – 988 мг/кг почвы, потенциально усвояемый азот – 150 кг/га. Плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  составляла 554 кБк/м<sup>2</sup> (15 Ки/км<sup>2</sup>).

Метеорологические условия вегетационных периодов различались. По степени увлажнения 2006 и 2007 годы характеризовались хорошим увлажнением – ГТК составили 1,6 и 1,2, соответственно, 2008 год отличался избыточной увлажненностью – ГТК равен 2,0.

В полевом опыте возделывали яровой ячмень сорта Тюрингия, озимую рожь сорта Игуменская и овес сорта Богач. Схема полевого опыта включала варианты:

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1. Контроль – без удобрений | 9. Фон 2 + N90          |
| 2. Фон 1 – P60K90           | 10. Фон 2 + N60 + N30'' |
| 3. Фон 1 + N60              | 11. Фон 2 + N90 + N30'' |
| 4. Фон 1 + N90              | 12. Фон 3 – P60K150     |
| 5. Фон 1 + N60 + N30''      | 13. Фон 3 + N60         |
| 6. Фон 1 + N90 + N30''      | 14. Фон 3 + N90         |
| 7. Фон 2 – P60K120          | 15. Фон 3 + N60 + N30'' |
| 8. Фон 2 + N60              | 16. Фон 3 + N90 + N30'' |

Общая площадь делянок 72 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 45 м<sup>2</sup>. Повторность опыта – четырехкратная.

Фосфорные и калийные удобрения вносили перед посевом культур, азотные удобрения в форме карбамида согласно схеме опыта в следующие сроки: N – перед посевом ячменя и овса, в ранневесеннюю подкормку озимой ржи; N'' – в фазы выхода в трубку растений зерновых культур.

В микрополевом опыте возделывали яровой ячмень сорта Тюрингия и озимую рожь сорта Игуменская. Схема опыта включала варианты: 1. P<sub>6</sub>K<sub>12</sub> – фон; 2. Фон + N<sub>6</sub>; 3. Фон + N<sub>9</sub>; 4. Фон + N<sub>6</sub> + N<sub>3</sub>''; 5. Фон + N<sub>9</sub> + N<sub>3</sub>''.

Азотные удобрения (карбамид) вносили в виде водного раствора перед посевом и по фазам роста и развития растений согласно схеме опыта: N – перед посевом ячменя и в период возобновления весенней вегетации озимой ржи; N'' – начало фазы выхода в трубку. Дозы азотных удобрений приведены из расчета грамм на 1 м<sup>2</sup>. Степень обогащения азота <sup>15</sup>N – 25,0-26,8%. Фосфорные и калийные удобрения вносили перед посевом. Размер учетных микроделянок 0,25 м<sup>2</sup>. Повторность опыта – четырехкратная.

Удельную активность <sup>137</sup>Cs в почвенных пробах определяли на γ-β-спектрометре МКС-АТ1315, в растительных – на γ-спектрометрических комплексах «Canberra» и «Oxford». Агрохимические показатели почвы определяли: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91; рН<sub>(КСН)</sub> – потенциометрическим методом; подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову; N<sub>обш</sub> – по ГОСТ 26107-84; N-NH<sub>4</sub> – по ГОСТ 26489-85; N-NO<sub>3</sub> – по ГОСТ 26488-85. Изотопный состав азота определяли на масс-спектрометре «Thermo Finnigan MAT Delta plus Advantage». Общий азот в растениях определяли после их мокрого озоления по методу ЦИНАО.

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

### **Накопление <sup>137</sup>Cs растениями в зависимости от уровней минерального питания**

#### ***Влияние уровней калийного питания на поглощение <sup>137</sup>Cs растениями.***

На дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs 15,0 Ки/км<sup>2</sup>, средним содержанием в пахотном слое подвижного калия и повышенным содержанием подвижного фосфора на контроле удельная активность радиоцезия в зерне колебалась у ячменя от 10,4 до 12,8 Бк/кг, озимой ржи – от 11,2 до 14,1 и в зерне овса от 17,1 до 19,4 Бк/кг. Применение калийных удобрений в дозе 90 кг/га на фоне Р60 обеспечили достоверное уменьшение удельной активности <sup>137</sup>Cs в зерне. Содержание радионуклида в зерне ячменя снизилось на 37%, озимой ржи – на 30, в зерне овса – на 25%. В результате статистической обработки результатов установлена тесная обратная зависимость



между концентрацией  $K_2O$  и удельной активностью  $^{137}Cs$  в зерне. Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) для ячменя, озимой ржи и овса получены соответственно 0,69, 0,88 и 0,82. Повышение содержания калия в растениях способствовало существенному уменьшению накопления  $^{137}Cs$ . Минимальное содержание его отмечалось при концентрации  $K_2O$  в зерне ячменя и озимой ржи – 0,80-0,85%, зерне овса – 0,60-0,70%.

**Поступление  $^{137}Cs$  в растения в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений при разных уровнях калийного питания.** Влияние азотных удобрений на содержание  $^{137}Cs$  в продукции зависело от уровней калийного питания растений – с повышением доз калийных удобрений отрицательное действие азота снижалось (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты перехода  $^{137}Cs$  в зерно в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений на разных уровнях применения калия (Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>)

Дозы и сроки внесения азотных удобрений	Уровни применения калийных удобрений		
	P60K90	P60K120	P60K150
<b>Ячмень</b>			
N0	0,014	0,013	0,013
N60	0,017	0,017	0,012
N90	0,020	0,020	0,013
N60+N30 <sup>//</sup>	0,021	0,020	0,016
N90+N30 <sup>//</sup>	0,025	0,023	0,018
<i>HCP<sub>05</sub> = 0,003</i>			
<b>Озимая рожь</b>			
N0	0,017	0,016	0,016
N60	0,022	0,021	0,015
N90	0,022	0,021	0,014
N60+N30 <sup>//</sup>	0,024	0,022	0,014
N90+N30 <sup>//</sup>	0,025	0,025	0,020
<i>HCP<sub>05</sub> = 0,003</i>			
<b>Овес</b>			
N0	0,026	0,023	0,021
N60	0,030	0,029	0,022
N90	0,039	0,036	0,024
N60+N30 <sup>//</sup>	0,038	0,034	0,023
N90+N30 <sup>//</sup>	0,046	0,037	0,025
<i>HCP<sub>05</sub> = 0,007</i>			

Достоверно более низкие  $K_p$  получены на высоком уровне (K150) применения калийных удобрений. На низком и среднем уровнях различия были несущественными. Минимальные коэффициенты перехода  $^{137}Cs$  в зерно ячменя отмечены в вариантах N60P60K150 и N90P60K150, которые составили

соответственно 0,012 и 0,013 Бк/кг : кБк/м<sup>2</sup>. На озимой ржи, как и на ячмене, коэффициенты перехода <sup>137</sup>Cs в зерно при внесении одних и тех же доз азотных удобрений на разных фонах калия достоверно снижались только на фоне К150. Различия между фонами К90 и К120 были незначительными. Наиболее низкие Кп <sup>137</sup>Cs в зерно озимой ржи (0,014 Бк/кг : кБк/м<sup>2</sup>) были в вариантах с однократным и дробным применением 90 кг/га азота на фоне Р60К150. Переход <sup>137</sup>Cs в зерно овса при внесении одних и тех же доз азотных удобрений на разных фонах калия достоверно снижался при дозах 60-90 кг/га азота на фоне К150, при дозе 120 кг/га – на фонах К120 и К150. Наиболее низкие Кп <sup>137</sup>Cs в овес (0,021-0,024 Бк/кг : кБк/м<sup>2</sup>) отмечены на среднем и высоком фонах РК (Р60К120, Р60К150), а также в вариантах с применением 60-90 кг/га азота на фоне Р60К150.

Поступление <sup>137</sup>Cs в растения зависело от соотношения азота и калия в удобрении и почве. Снижение накопления радионуклида в зерне наблюдается при расширении соотношения N : K в удобрении до 1 : 1,7-2,5. Дальнейшее увеличение отношения повышением доз калийных удобрений или снижением доз азотных удобрений не существенно влияет на переход <sup>137</sup>Cs в растения. Установлена обратная связь между поступлением <sup>137</sup>Cs из почвы в зерновые культуры от соотношения N : K в почве. Коэффициенты корреляции (R) колебались в диапазоне от -0,84 до -0,91 по удельной активности <sup>137</sup>Cs и от -0,78 до -0,84 по коэффициентам перехода <sup>137</sup>Cs в зерно.

Минимальное поступление <sup>137</sup>Cs в растения отмечалось при соотношении N : K в почве в диапазоне 1 : 3,8-4,2. Внесение повышенных доз азота на низком фоне калийных удобрений сужало это соотношение. Заметное увеличение накопления <sup>137</sup>Cs в зерне наблюдалось при сужении соотношения азота к калию менее, чем 1 : 3,5. С увеличением обеспеченности почвы подвижным калием от низкой до высокой степени агроэкологический оптимум содержания потенциально усвояемого азота в почве колеблется от 35 до 55 мг/кг почвы.

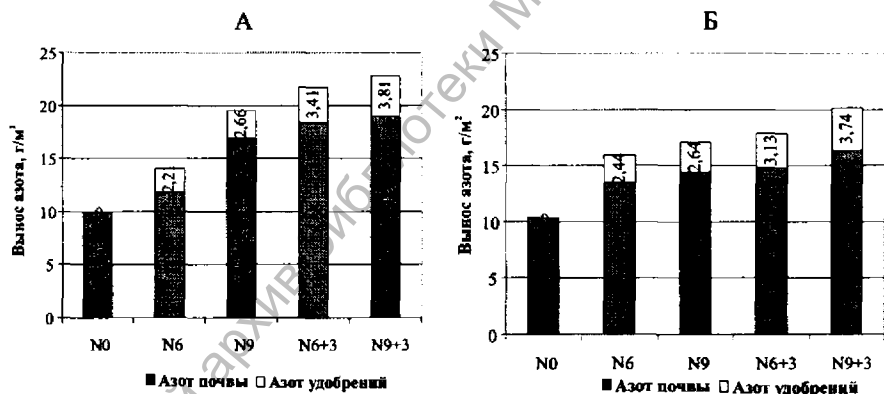
На основе агроэкологических оптимумов для супесчаных почв с разной обеспеченностью подвижным калием определены интервалы оптимального содержания и запаса усвояемого и минерального азота в 0-25 см слое почвы, обеспечивающие минимальное накопление <sup>137</sup>Cs в продукции (таблица 2).

Таблица 2 – Оптимальное содержание и запас азота в 0-25 см слое дерново-подзолистых супесчаных почв, подверженных радиоактивному загрязнению, в зависимости от обеспеченности подвижным калием

Содержание K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	Потенциально усвояемый азот		Минеральный азот	
	мг/кг почвы	кг/га	мг/кг почвы	кг/га
150-180	37,5-45,0	125-145	18,5-22,5	62,5-72,5
181-210	45,1-52,5	150-170	22,6-26,5	75,0-85,0

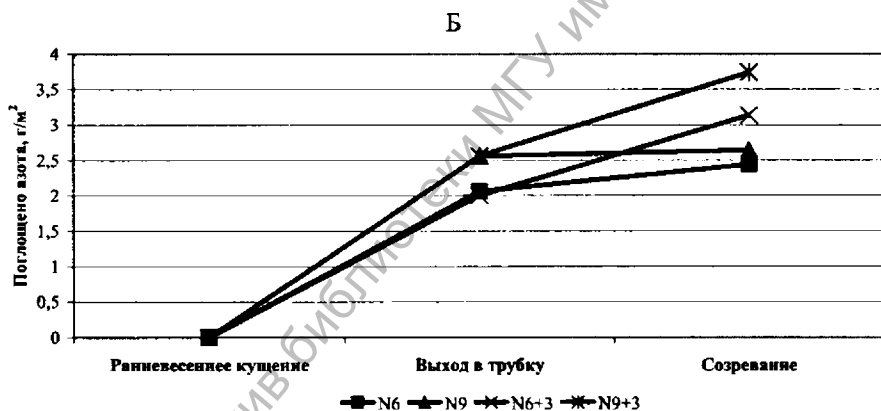
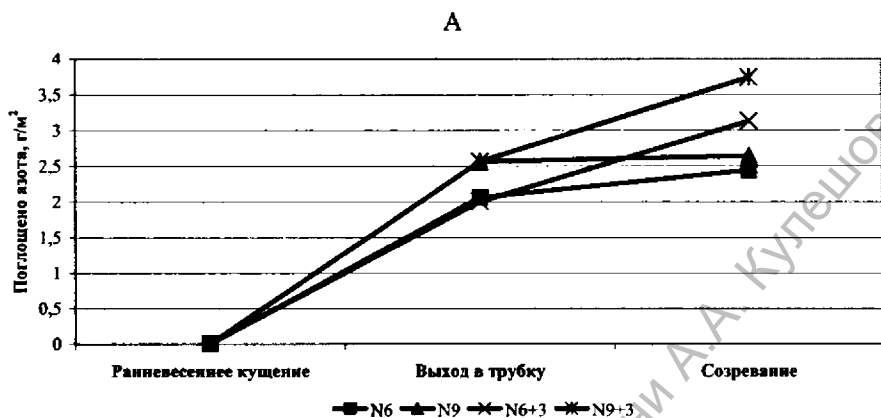
**Азотное питание растений и баланс азота в системе почва – удобрение – растение (по данным исследований с  $^{15}\text{N}$ )**

**Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на потребление растениями азота почвы и удобрений.** Вынос общего азота с основной и побочной продукцией ячменя колебался в зависимости от уровней азотного питания от 10,01 до 22,80 г/м<sup>2</sup>. Наибольший вынос азота (22,80 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении  $\text{N}_{12}$  в два приема ( $\text{N}_9$  – до посева +  $\text{N}_3$  – в фазу выхода в трубку). Дробное применение  $\text{N}_9$  существенно увеличило потребление азота по отношению к однократному применению той же дозы. Установлено, что 76–77% азота удобрений, внесенного перед посевом ячменя, поглощается в период всходы – фаза выхода в трубку. При дробном применении удобрений (варианты 4 и 5) поступление азота в растения происходит более равномерно в течение вегетации. До фазы выхода в трубку поглощается 50–54% азота от общей дозы внесения. В урожае основной и побочной продукции доля азота удобрений составила 14–17%, почвенного азота – 83–86%. Наиболее низкое относительное участие (около 14%) азота удобрений отмечено при однократном применении  $\text{N}_9$ . Увеличение уровня азотного питания до  $\text{N}_{12}$  способствовало повышению доли азота удобрений в общем выносе до 17% (рисунки 1, 2).



**Рисунок 1 – Вынос азота почвы и азота удобрений ячменем (А) и озимой рожью (Б) в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений**

С урожаем основной и побочной продукции озимой ржи вынос азота колебался от 10,36 (на фоне  $\text{P}_6\text{K}_{12}$ ) до 20,12 г/м<sup>2</sup> (в варианте  $\text{P}_6\text{K}_{12}\text{N}_{90}+\text{N}_{30}$ ). Наиболее высокий вынос азота (20,12 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении  $\text{N}_{12}$  в два приема ( $\text{N}_9$  – в ранневесеннюю подкормку +  $\text{N}_3$  – в фазу выхода в трубку). Дробное применение  $\text{N}_9$  существенно увеличило потребление азота удобрений по отношению к варианту с однократным применением той же дозы.



**Рисунок 2 – Динамика потребления азота удобрений ячменем (А) и озимой рожью (Б) в зависимости от доз и сроков их внесения**

Применение в ранневесеннюю подкормку озимой ржи (фаза кущения) 6-9 г/м<sup>2</sup> азота удобрений показало, что на 93–97% он используется растениями в начальный период вегетации – от фазы кущения до выхода в трубку (включительно). В формировании урожая основной и побочной продукции озимой ржи удельный вес азота удобрений составил в зависимости от доз и сроков его внесения в среднем 15–19%, почвенного азота – 81–85%.

Установлено, что урожай зерна ячменя на 83-86% образуется за счет азота почвы и на 14-17% за счет азота удобрений. Урожай озимой ржи также на 80-86% формируется за счет почвенного азота и на 14-20% – за счет внесенного

азота. В зерне концентрируется 68-72% всего поглощенного растениями азота удобрений.

**Баланс азота удобрений в системе почва – растение.** Коэффициенты использования азота удобрений колеблются в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 29 до 41%. Дробное применение азота ( $N_{6+3}$ ) по сравнению с однократным ( $N_9$ ) способствует повышению коэффициента использования его на 6-8%. При увеличении доз до  $N_{12}$  величины потребления его растениями возрастают, однако коэффициенты использования снижаются (таблица 3).

Таблица 3 – Баланс азота удобрений в системе почва–растение в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений

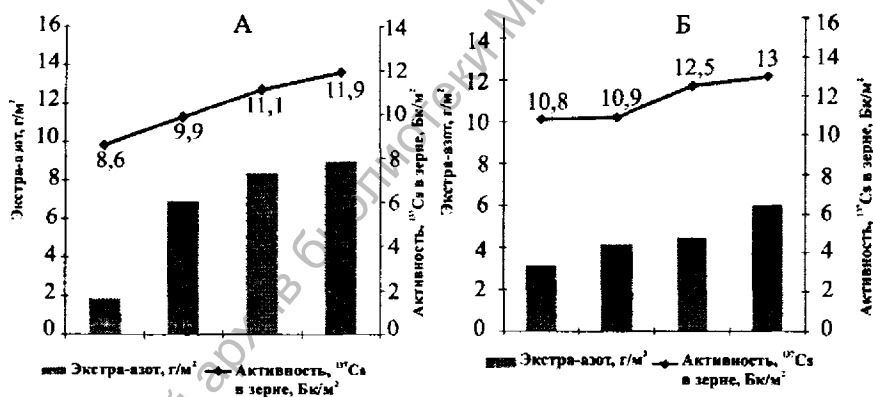
Вариант	Поглощено растениями		Закрепилось в почве		Потери	
	г/м <sup>2</sup>	% от внесенной дозы	г/м <sup>2</sup>	% от внесенной дозы	г/м <sup>2</sup>	% от внесенной дозы
<b>Ячмень</b>						
1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон	-	-	-	-	-	-
2. Фон + N <sub>6</sub>	2,21	37	2,42	40	1,37	23
3. Фон + N <sub>9</sub>	2,66	30	2,76	31	3,58	39
4. Фон + N <sub>6</sub> +N <sub>3</sub> <sup>II</sup>	3,41	38	2,56	28	3,03	34
5. Фон + N <sub>9</sub> +N <sub>3</sub> <sup>II</sup>	3,81	32	2,98	25	5,21	43
<b>Озимая рожь</b>						
1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон	-	-	-	-	-	-
2. Фон + N <sub>6</sub>	2,44	41	2,15	36	1,41	23
3. Фон + N <sub>9</sub>	2,64	29	2,45	27	3,91	44
4. Фон + N <sub>6</sub> +N <sub>3</sub> <sup>II</sup>	3,13	35	2,41	27	3,46	38
5. Фон + N <sub>9</sub> +N <sub>3</sub> <sup>II</sup>	3,74	31	2,55	21	5,71	48

В почвенном профиле закрепляется от 21 до 40% азота удобрений, неиспользуемого растениями в первый год. С повышением доз удобрений абсолютные размеры закрепления азота возрастают, относительные снижаются. Основное количество (65-72%) закрепленного в почве азота концентрируется в пахотном 0-20 см слое. Дробное внесение азотных удобрений по сравнению с однократным способствует снижению миграции азота в подпахотные горизонты.

Потери азота в результате вымывания и денитрификации составляют в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 23 до 48%. Закрепление внесенного азота способствует снижению его потерь. С повышением доз азотных удобрений увеличиваются абсолютные и относительные потери азота. При дробном применении наблюдается снижение их на 5-6%.

**Мобилизация азота почвы под влиянием азотных удобрений и поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения.** Азотные удобрения повышают потребление растениями азота почвы по отношению к фону РК на 30–89% в зависимости от их доз. При дробном внесении  $\text{N}_0$ , по сравнению с однократным, количество «экстра»-азота в растениях увеличивается на 0,32-1,44 г/м<sup>2</sup>, а при увеличении дозы удобрения до  $\text{N}_{12}$  – на 0,63-1,60 г/м<sup>2</sup>. На единицу азота удобрений мобилизуется 0,31-0,92 единицы почвенного азота. При дробном внесении азота и с увеличением его доз значение данного показателя возрастает.

Получена тесная связь между содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и дополнительным накоплением растениями азота почвы («экстра»-азота), которая описывалась для ячменя уравнением  $y = 1,11x + 7,6$ ,  $R^2 = 0,99$ , для озимой ржи –  $y = 0,1x^2 + 0,32x + 10,25$ ,  $R^2 = 0,91$  (рисунок 3). Увеличение «экстра»-азота в растениях приводило к повышению концентрации в них  $^{137}\text{Cs}$ . Следовательно, с применением азотных удобрений запасы доступного растениям азота формировались как за счет внесенного азота, так и за счет дополнительно мобилизованного азота почвы. Усиление минерализационных процессов в почве при внесении удобрений способствовало более интенсивному поступлению в растения почвенного азота и радиоцезия.



**Рисунок 3 – Зависимость удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя (А) и озимой ржи (Б) от величины дополнительного потребления растениями азота почвы**

#### **Агрохимическая и экономическая эффективность доз и сроков применения азотных удобрений в звене севооборота**

На супесчаной почве с повышенной обеспеченностью  $\text{P}_2\text{O}_5$  и средним содержанием  $\text{K}_2\text{O}$  фосфорные и калийные удобрения в дозах Р60К90 обеспечили прибавку зерна 6,6 ц/га. Более высокие дозы калия (120 и 150 кг/га) не существенно повышали урожайность. Действие азотных удобрений на

урожайность зависит от доз, сроков их внесения и уровня калийного питания. Применение N60 увеличивает урожайность зерна в среднем на 12,4-14,1 ц/га. Повышение дозы азота на 30 кг/га (N90) обеспечивает существенный (в среднем на 2-4 ц/га) рост урожая к варианту с N60. Дробное внесение N90 имеет преимущество перед однократным только на среднем (K120) и высоком (K150) уровнях калийного питания – прибавки зерна 2,0-3,1 ц/га. Применение дозы азота 120 кг/га обеспечивает достоверное (2,4 ц/га) увеличение урожайности только на фоне P60K120.

Экономически наиболее эффективным под зерновые культуры с целью получения продовольственного и фуражного зерна является дробное применение 120 кг/га азота удобрений на фоне P60K150. Рентабельность и дополнительный чистый доход составляют в среднем соответственно при получении продовольственного зерна 151,4% и 467,7 тыс. руб./га, фуражного зерна – 80,3% и 262,8 тыс. руб./га (таблица 4).

Таблица 4 – Эффективность применения удобрений в звене севооборота ячмень – озимая рожь – овес

Вариант	Урожайность зерна в среднем, ц/га	Производство продовольственного зерна		Производство фуражного зерна	
		чистый доход, тыс. рублей	рентабельность, %	чистый доход, тыс. рублей	рентабельность, %
1. Контроль	23,1	-	-	-	-
2. Фон 1 – P60K90	29,7				
3. Фон 1 + N60	42,1	255,9	118,6	136,6	60,5
4. Фон 1 + N90	46,2	352,9	131,7	189,9	66,2
5. Фон 1 + N60 + N30 <sup>д</sup>	47,6	392,0	139,6	213,5	71,7
6. Фон 1 + N90 + N30 <sup>д</sup>	49,4	438,5	146,6	236,8	75,8
7. Фон 2 – P60K120	31,5				
8. Фон 2 + N60	44,9	286,5	125,4	164,3	66,8
9. Фон 2 + N90	47,9	350,2	130,9	193,4	66,4
10. Фон 2 + N60 + N30 <sup>д</sup>	49,9	401,2	141,4	220,5	73,2
11. Фон 2 + N90 + N30 <sup>д</sup>	52,3	465,5	151,0	254,8	79,2
12. Фон 3 – P60K150	32,4				
13. Фон 3 + N60	46,5	300,1	129,9	169,3	69,4
14. Фон 3 + N90	48,4	337,9	128,0	188,6	64,9
15. Фон 3 + N60 + N30 <sup>д</sup>	51,5	421,1	144,9	234,3	75,9
16. Фон 3 + N90 + N30 <sup>д</sup>	53,3	467,7	151,4	262,8	80,3
НСР <sub>05</sub>	1,8	-	-	-	-

Наиболее высокая окупаемость азотных удобрений прибавкой зерна наблюдается при внесении их в дозе N60 на повышенных фонах калия (K120-150). На ячмене максимальная окупаемость 1 кг азота удобрений 27,7 кг зерна получена в варианте N60P60K120, на озимой ржи 22,7 и овсе 20,5 кг зерна – в варианте N60P60K150. Максимальная окупаемость полного (NPK) минерального удобрения на зерновых культурах отмечается при дробном применении N90 фоне P60K90.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве со средним содержанием в пахотном слое подвижного калия применение калийных удобрений в дозе 90 кг/га на фоне P60 снижает по отношению к контролю переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерно ячменя на 30%, озимой ржи – на 27, овса – на 20%. Более высокие дозы калия (K120 и K150) уменьшают поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры на 5-12% [14, 15].

2. Азотные удобрения усиливают миграцию  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение, как напрямую, так и косвенно – в результате дополнительной мобилизации и поступления в растения почвенного азота. Отрицательное действие их снижается при повышении уровня калийного питания растений. Дробное применение азота по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в продукции не существенно отличается от однократного внесения той же дозы. Усиление поступления  $^{137}\text{Cs}$  в зерно наблюдается как при низком, так и при высоком содержании азота в растениях. Низкая концентрация общего азота обуславливает низкую урожайность и, соответственно, увеличение активности  $^{137}\text{Cs}$  в продукции. Высокий уровень азотного питания растений приводит к увеличению поглощения азота и цезия растениями. Минимальное накопление радионуклида наблюдалось при содержании общего азота в зерне ячменя 1,90-2,30%, озимой ржи – 1,50-1,60, овса – 1,50-1,70% [6, 8, 20].

3. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения зависит от соотношения азота и калия в удобрении и почве. Минимальное поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры отмечается при соотношении N : K в почве в диапазоне 1 : 3,8-4,2. Дальнейшее увеличение отношения повышением доз калийных удобрений или снижением доз азотных удобрений не существенно влияет на переход  $^{137}\text{Cs}$  в растения. Заметное увеличение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне наблюдается при сужении соотношения азота к калию менее, чем 1 : 3,5. С увеличением обеспеченности почвы калием агроэкологический оптимум содержания потенциально усвояемого азота в почве возрастает [10, 13, 16, 17, 18].

4. В азотном питании зерновых культур преобладает азот почвенных запасов, доля которого в формировании урожая зерна достигает 80-86%. Азот удобрений, внесенный перед посевом ячменя и в ранневесеннюю подкормку



озимой ржи, используется растениями на 76-94% в начальный период вегетации – до фазы выхода в трубку включительно. При дробном применении удобрений поступление азота в растения происходит более равномерно в течение вегетации – до фазы выхода в трубку растения ячменя поглощают 50-54%, растения озимой ржи – 64-68% внесенного азота. Коэффициенты использования азота удобрений колеблются в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 29 до 41%. Дробное применение азотных удобрений по сравнению с однократным способствует повышению коэффициента использования азота на 6-8%. По мере увеличения доз внесения азота величина потребления его растениями возрастает, однако коэффициент использования снижается [2, 7, 12].

5. В почве закрепляется от 21 до 40% азота удобрений, неиспользуемого растениями в первый год. С повышением доз азота абсолютные размеры закрепления его возрастают, относительные – снижаются. Основное количество (65-72%) закрепленного азота концентрируется в пахотном слое. Дробное внесение азотных удобрений по сравнению с однократным способствует снижению миграции азота в подпахотные горизонты. Потери азота в результате вымывания и денитрификации изменяются в зависимости от доз и сроков его внесения от 23 до 47%. Закрепление азота способствует снижению его потерь. По мере повышения доз азотных удобрений увеличиваются абсолютные и относительные потери азота. При дробном применении наблюдается снижение их на 5-6%. Азотные удобрения повышают потребление растениями азота почвы по отношению к фосфорно-калийному фону на 30–89% в зависимости от их доз. На единицу азота удобрений мобилизуется 0,31–0,92 единицы почвенного азота. При дробном внесении удобрений и с увеличением их доз значение данного показателя возрастает [1, 6, 9, 19].

6. Действие доз и сроков внесения азотных удобрений на урожайность зависит от уровня калийного питания. Применение N60 увеличивает урожайность зерна в среднем на 12,4-14,1 ц/га. Повышение дозы азота на 30 кг/га (N90) обеспечивает существенный (в среднем на 2-4 ц/га) рост урожая к варианту с N60. Дробное внесение N90 имеет преимущество перед однократным при повышенных уровнях калийного питания (K120-150) – прибавки зерна 2,0-3,1 ц/га. Применение дозы азота 120 кг/га обеспечивает достоверное (2,4 ц/га) увеличение урожайности только на фоне P60K120.

При обеспеченности почвы потенциально усвояемым азотом 140-150 кг/га в пахотном слое экономически наиболее эффективным под зерновые культуры с целью получения продовольственного и фуражного зерна является дробное применение 120 кг/га азота удобрений на фоне P60K150. Рентабельность и дополнительный чистый доход составляют в среднем при получении продовольственного зерна 151,4% и 467,7 тыс. руб./га, фуражного зерна – 80,3% и 262,8 тыс. руб./га [3, 4, 5, 11].

### Рекомендации по практическому использованию результатов

Предложены оптимальные запасы потенциально усвояемого и минерального азота в ранневесенний период на загрязненных радионуклидами дерново-подзолистых супесчаных почвах в зависимости от содержания в пахотном слое подвижного калия, обеспечивающие минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в товарной продукции зерновых культур. При содержании  $\text{K}_2\text{O}$  150-210 мг/кг почвы оптимальные запасы в пахотном слое почвы составляют: потенциально усвояемого азота – 125-170 кг/га; минерального азота – 62,5-85,0 кг/га. Доза азота по каждому конкретному полю для внесения перед посевом яровых и в ранневесеннюю подкормку озимых зерновых культур уточняется как разность между оптимальным и фактическим содержанием азота в почве по формуле:

$$N_{\text{уд.}} = N_{\text{опт.}} - N_{\text{факт.}}$$

где  $N_{\text{уд.}}$  – доза азота удобрений, кг/га д.в.;  $N_{\text{опт.}}$  и  $N_{\text{факт.}}$  – оптимальное и фактическое содержание азота в почве, кг/га.

2. С учетом снижения за длительный период после аварии на Чернобыльской АЭС биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  предлагается на загрязненных радиоцезием дерново-подзолистых супесчаных почвах не ограничивать максимальные дозы азота под зерновые культуры. В то же время повышенные дозы азотных удобрений (90-120 кг/га и более) рекомендуется применять дробно, что обеспечивает повышение коэффициента использования азота на 6-8%, снижение миграции его в подпахотные горизонты и потерь на 5-6%.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь

1. Цыбулько, Н.Н. Азотмобилизующая способность почвы при внесении азотных удобрений / Н.Н. Цыбулько, И.И. Жукова, Д.В. Киселева // *Агрохимия*. – 2007. – № 8. – С. 18–22.
2. Цыбулько, Н.Н. Использование зерновыми культурами азота почвы и удобрений / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева, И.И. Жукова // *Весці НАН Беларусі*. – *Серыя аграрных навук*. – 2008. – № 2. – С. 36–41.
3. Цыбулько, Н.Н. Эффективность доз и сроков применения азотных удобрений в зависимости от уровней калийного питания в звене зернотравяного севооборота / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Почвоведение и агрохимия*. – 2008. – № 2 (41). – С. 96–102.
4. Цыбулько, Н.Н. Влияние уровней применения азотных и калийных удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и продуктивность зерновых культур / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Весці НАН Беларусі*. *Серыя аграрных навук*. – 2009. – № 2. – С. 68–73.
5. Цыбулько, Н.Н. Радиоэкологическая и агрономическая эффективность азотных и калийных удобрений на дерново-подзолистой рыхло-супесчаной почве / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Земляробства і ахова раслін*. – 2009. – № 6. – С. 48–51.
6. Цыбулько, Н.Н. Мобилизация азота почвы под влиянием азотных удобрений и поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Почвоведение и агрохимия*. – 2010. – № 2 (41). – С. 156–163.
7. Цыбулько, Н.Н. Баланс азота удобрений в системе почва–растение под зерновыми культурами на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Почвоведение и агрохимия*. – 2010. – № 2 (41). – С. 145–155.
8. Цыбулько, Н.Н. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и продуктивность зерновых культур / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // *Агрохимия*. – 2010. – № 4. – С. 56–61.

### Статьи в других изданиях

9. Цыбулько, Н.Н. Дополнительное потребление растениями азота почвы при внесении азотных удобрений / Н.Н. Цыбулько, И.И. Жукова, Д.В. Киселева // *Веснік МДУ імя А.А. Куляшова*. – 2007. – № 4 (27). – С. 175–180.
10. Цыбулько, Н.Н. Миграция  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва – растение в зависимости от уровней азотного и калийного питания / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева, И.И. Жукова // *Экологический вестник*. – 2008. – № 2 (5). – С. 91–99.

## Материалы конференций, тезисы докладов

11. Эффективность доз и сроков внесения азотных удобрений под ячмень в зависимости от уровней калийного питания / Н.Н. Цыбулько, Т.П. Шапшеева, Д.В. Киселева, А.В. Ермоленко // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений : материалы Межд. науч.-практ. конф., посвященной 130-летию со дня рождения академика Я.Н. Афанасьева, Горки, 5-7 июня 2007 г. / МО РБ, УО «БГСХ»; редкол.: А.И. Горбылева [и др.]. – Горки, 2007. – С. 320–322.
12. Цыбулько, Н.Н. Агрохимические аспекты эффективного применения азотных удобрений / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси : тезисы Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию образования Института земледелия, Жодино, 29 июня 2007 г. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск, 2007. – С. 168–171.
13. Цыбулько, Н.Н. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  зерновыми культурами в зависимости от соотношения азотного и калийного питания / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // Актуальные проблемы экологии – 2007 : тезисы докл. III Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 21-23 ноября 2007 г. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Н.П. Канунникова [и др.]. – Гродно, 2007. – С. 64–65.
14. Цыбулько, Н.Н. Влияние уровней минерального питания на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения ячменя / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева, Т.П. Шапшеева // Регуляция роста, развития и продуктивности растений : материалы V-й Междунар. науч. конф., г. Минск, 28-30 ноября 2007 г. / Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси; редкол.: Н.А. Ламан [и др.]. – Минск, 2007. – С. 211.
15. Цыбулько, Н.Н. Влияние доз калийных удобрений на переход  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в зерновые культуры / Н.Н. Цыбулько, Т.П. Шапшеева, Д.В. Киселева // География в XXI век: проблемы и перспективы развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 17-18 апреля 2008 г. / МО РБ, Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; редкол.: К.К. Красовский [и др.]. – Брест, 2008. – С. 80–81.
16. Цыбулько, Н.Н. Роль азотного и калийного питания в регулировании миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва – растение / Н.Н. Цыбулько, Т.П. Шапшеева, Д.В. Киселева // Чернобыльские чтения – 2008 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24-25 апреля 2008 г. / Гомель, ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека»; редкол.: А.В. Рожко [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 316–321.
17. Цыбулько Н.Н. Влияние растительных остатков с разным соотношением C : N на переход  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева //

- Сахаровские чтения 2008 года : экологические проблемы XXI века : материалы 8-й Междунар. науч. конф., Минск, 22-23 мая 2008 г. / УО «Междунар. гос. экол. ун-т им. А.Д. Сахарова»; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2008. – С. 217–218.
18. Цыбулько, Н.Н. Влияние азотного и калийного питания на переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева, Ю.В. Шипилов // Радиация и экосистемы : материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 16-17 октября 2008 г. / РНИУП «Институт радиологии»; редкол.: Е.Ф. Конопля [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 139–141.
19. Цыбулько, Н.Н. Физиологическая и агрономическая эффективность применения азотных удобрений / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // Почва – удобрение – плодородие – урожай : материалы Межд. научно-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рожд. Иванова С.Н. и 90-летию со дня рожд. Кулаковской Т.Н., Минск, 16-18 февраля 2009 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН РБ ; редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Минск, 2009. – С. 229–232.
20. Киселева, Д.В. Влияние азотных удобрений на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры на дерново-подзолистой супесчаной почве / Д.В. Киселева, Н.Н. Цыбулько // Современные проблемы радиобиологии : материалы Междунар. научн. конф., Гомель, 14-15 октября 2010 г. / Ин-т радиобиологии НАН Беларуси ; редкол.: А.Д. Наумов [и др.]. – Минск, 2010. – С. 60–61.

Киселева Дина Владимировна

### **Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений при разном уровне калийного питания на переход $^{137}\text{Cs}$ в зерновые культуры и баланс азота в дерново-подзолистой супесчаной почве**

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, радионуклиды,  $^{137}\text{Cs}$ , дерново-подзолистые супесчаные почвы, зерновые культуры, коэффициент перехода, мобилизация азота, дозы и сроки внесения азотных удобрений.

**Объект исследований:** загрязненная  $^{137}\text{Cs}$  дерново-подзолистая супесчаная почва на водно-ледниковых рыхлых супесях.

**Цель исследований:** установить степень влияния азотных удобрений при разном уровне калийного питания на поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры и разработать предложения по повышению эффективности применения азотных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве, обеспечивающие минимальное накопление радионуклида в продукции.

**Методы проведения исследований:** исследования выполнены путём закладки и проведения полевых и микрополевых опытов. Лабораторные анализы почвенных и растительных образцов, статистическая обработка, экономический анализ полученных данных выполнены по общепринятым методикам.

**Результаты исследований и их новизна:** впервые в условиях радиоактивного загрязнения земель установлено, что азотные удобрения не только направляю, но и косвенно, в результате дополнительной мобилизации азота почвы, усиливают миграцию  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения. Минимальное поступление  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры отмечается при соотношении N : K в диапазоне 1 : 3,8-4,2. С увеличением обеспеченности почвы подвижным калием агроэкологический оптимум содержания потенциально усвояемого азота в почве также повышается. На дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  15 Ки/км<sup>2</sup>, обеспеченностью усвояемым азотом 140-150 кг/га, подвижным фосфором 218 мг/кг и калием 173 мг/кг наиболее эффективным под зерновые культуры с целью получения нормативно чистого по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  продовольственного и фуражного зерна является дробное применение 120 кг/га азота удобрений на фоне P60K150. Рентабельность и дополнительно чистый доход составляют при получении продовольственного зерна 151,4% и 467,7 тыс. руб./га, фуражного зерна – 80,3% и 262,8 тыс. руб./га, соответственно.

**Область применения:** полученные результаты дают основание рекомендовать сельскохозяйственным организациям при возделывании зерновых культур на загрязненных радиоцезием дерново-подзолистых супесчаных почвах применять разработанную систему удобрений, обеспечивающую получение продовольственного и фуражного зерна с минимальным накоплением  $^{137}\text{Cs}$ .

## Кісялёва Дзіна Уладзіміраўна

**Уплыў доз і тэрмінаў унясення азотных угнаенняў пры розным узроўні калійнага падкормлівання на пераход  $^{137}\text{Cs}$  у зерневыя культуры і баланс азоту ў дзярнова-падзолістай сунясчанай глебе**

**Ключавыя словы:** мінеральныя ўгнаенні, радыенукліды,  $^{137}\text{Cs}$ , дзярнова-падзолістыя супясчаныя глебы, зерневыя культуры, каэфіцыент пераходу, мабілізацыя азоту, дозы і тэрміны ўнясення азотных угнаенняў.

**Аб'ект даследаванняў:** забруджаная  $^{137}\text{Cs}$  дзярнова-падзолістая супясчаная глеба на водна-ледавіковых рухлых супесках.

**Мэта даследаванняў:** устанавіць ступень уплыву азотных угнаенняў пры розным узроўні калійнага падкормлівання на паступленне  $^{137}\text{Cs}$  у зерневыя культуры і распрацаваць прапановы па павышэнні эфектыўнасці ўжывання азотных угнаенняў на дзярнова-падзолістай супясчанай глебе, якія забяспечваюць мінімальнае назапашванне радыенукліда ў прадукцыі.

**Метады правядзення даследаванняў:** даследаванні выкананы шляхам закладкі і правядзення палявых і мікрапалявых вопытаў. Лабараторныя аналізы глебавых і раслінных узораў, статыстычная апрацоўка, эканамічны аналіз атрыманых дадзеных выкананы паводле агульнапрынятых метадык.

**Вынікі даследаванняў і іх навізна:** упершыню ва ўмовах радыеактыўнага забруджвання зямель устаноўлена, што азотныя ўгнаенні не толькі непагрэдна, але і ўскосна, у выніку дадатковай мабілізацыі азоту глебы, узмацняюць міграцыю  $^{137}\text{Cs}$  з глебы ў расліны. Мінімальнае паступленне  $^{137}\text{Cs}$  у зерневыя культуры заўважаецца пры суадносінах N : K у дыяпазоне 1 : 3,8-4,2. З павелічэннем забяспечанасці глебы рухомым каліем аграэкалагічны оптымум утрымання патэнцыяльна засваяльнага азоту ў глебе таксама павялічваецца. На дзярнова-падзолістай супясчанай глебе са шчыльнасцю забруджвання  $^{137}\text{Cs}$  15 Кі/км<sup>2</sup>, забяспечанасцю засваяльным азотам 140-150 кг/га, рухомым фосфарам 218 мг/кг і каліем 173 мг/кг найбольш эфектыўным пад зерневыя культуры з мэтай атрымання нарматыўна чыстага паводле ўтрымання  $^{137}\text{Cs}$  харчовага і фуражнага зерня з'яўляецца дробавае ўжыванне 90 кг/га азоту ўгнаенняў на фоне Р60К150. Рэнтабельнасць і дадаткова чысты прыбытак складаюць пры атрыманні харчовага збожжа 151,4% і 467,7 тыс. руб./га, фуражнага зерня – 80,3% і 262,8 тыс. руб./га адпаведна.

**Галіна ўжывання:** атрыманія вынікі даюць магчымасць рэкамендаваць сельскагаспадарчым арганізацыям пры апрацоўцы зерневых культур на забруджаных радыецэзіем дзярнова-падзолістых супясчаных глебах ужываць распрацаваную сістэму ўгнаенняў, якая забяспечвае атрыманне харчовага і фуражнага зерня з мінімальным назапашваннем  $^{137}\text{Cs}$ .

## SUMMARY

Kiseliova Dina Vladimirovna

### **Influence of doses and terms of entering of nitric fertilizers at different level of a potash food on transition $^{137}\text{Cs}$ in grain crops and balance of nitrogen in sod-podsolic sandy soil**

**The key words:** mineral fertilizers, radiation,  $^{137}\text{Cs}$ , sod-podsolic sandy soils, grain crops, transition factor, mobilisation of nitrogen, a dose and terms of bringing in of nitric fertilizers.

**The object of researches:** polluted  $^{137}\text{Cs}$  sod-podsolic sandy soil on water-glacial friable sandy loams.

**The purpose of researches:** to establish the degree of influence of nitric fertilizers at different level of a potash food on receipt  $^{137}\text{Cs}$  in grain crops and to develop suggestions on increase of efficiency of application of nitric fertilizers on the sod-podsolic sandy soil, providing the minimum accumulation radiation in production.

**Methods of carrying out of researches:** researches are executed by a bookmark and carrying out field and microfield experiments. Laboratory analyses of soil and vegetative samples, statistical processing, the economic analysis of the received data are executed by the standard techniques.

**Results of researches and their novelty:** for the first time in the conditions of radioactive pollution of the earths it is established that nitric fertilizers not only directly, but also indirectly, as a result of additional mobilisation of nitrogen of soil, strengthen migration  $^{137}\text{Cs}$  from soil in plants. The minimum receipt  $^{137}\text{Cs}$  in grain crops is marked at parity N : K in a range 1 : 3,8-4,2. With increase in soil of mobile potassium the agroecological optimum of the maintenance potentially adopted nitrogen in soil also raises. On sod-podsolic sandy soil with pollution density  $^{137}\text{Cs}$  15 Ku/km<sup>2</sup>, the security of adopted nitrogen of 140-150 kg/hectares, mobile phosphorus of soil of 218 mg/kg and potassium 173 mg/kg the most effective under grain crops for the purpose of reception is standard pure under the maintenance  $^{137}\text{Cs}$  food and fodder grain are fractional application of nitrogen of fertilizers of 90 kg/hectares against P60K150. Profitability and in addition the net profit make at reception of food grain of 151,4% and 467,7 thousand rbl. / hectare, fodder grain – 80,3% and 262,8 thousand rbl. / hectare, accordingly.

**The area of application:** received results give the grounds to recommend agricultural organisations at cultivation of grain crops on sod-podsolic sandy soils polluted by radio caesium to apply the developed system of fertilizers providing reception of food and fodder grain with the minimum accumulation of  $^{137}\text{Cs}$ .