

*На правах рукописи*



КОВАЛЁВ ЛЕОНИД АНДРЕЕВИЧ

**Агроэкологическая оценка использования  
удобрений и цеолитов с целью создания  
агрохимических барьеров для  $^{137}\text{Cs}$**

Специальность: 03.00.16 - экология  
03.00.27 - почвоведение

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

**Работа выполнена**

в ФГУ Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский»  
и в Брянской государственной инженерно-технологической академии

**Научный руководитель** - доктор сельскохозяйственных наук,  
МАРКИНА ЗОЯ НИКОЛАЕВНА.

**Официальные опоненты:** доктор биологических наук,  
профессор АНДРОСОВ ГЕННАДИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор ПРИЩЕП НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ

**Ведущая организация,** - Комитет по сельскому хозяйству и продовольствию Брянской области

Защита состоится 14 мая 2004 года в 14<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета Д 120.38.01

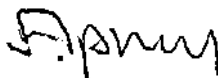
в Брянской государственной сельскохозяйственной академии по адресу: 243365,  
Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА, корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Брянской ГСХА.

Автореферат разослан 14 апреля 2004 г.

*Просим принять участие в работе Совета или прислать свой отзыв в 2-х экземплярах, заверенных гербовой печатью.*

Учёный секретарь,  
диссертационного совета,  
доктор сельскохозяйственных наук



А.И. Артюхов

## Общая характеристика работы

*Актуальность проблемы.* Анализ современной эколого-геохимической ситуации на земном шаре указывает на ухудшение качества окружающей среды. С особой остротой эта проблема проявилась в последние годы в связи с катастрофой на Чернобыльской АЭС, которая является уникальной по своей масштабности и характеристикам, и наибольшее загрязнение по уровням и площадям приходится на Брянскую область. Учитывая огромные размеры загрязненных территорий и длительность экологических периодов полураспада почв от радионуклидов, проблема реабилитации в Брянской области загрязненных земель, как в настоящее время, так и в долгосрочной перспективе будет оставаться чрезвычайно актуальной. Значительная часть выпавших на сушу радионуклидов аккумулируется и трансформируется в почве и становится неотъемлемой техногенной составляющей загрязненных агроэкосистем. Именно почва является вторичным и основным источником поступления техногенных загрязнителей, в том числе радиоактивных, в продукцию растениеводства и далее в организм животных и человека. Стратегия ведения сельскохозяйственного производства в данном регионе определяется решением проблем по получению сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиоэкологическим стандартам. При этом оптимизация ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных площадях является одной из наиболее актуальных проблем и требует особого внимания.

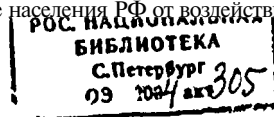
*Цель и задачи исследований.* Цель работы - агроэкологическая оценка использования удобрений и цеолитов для создания агрохимических барьеров, обеспечивающих получение сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормам радиационной безопасности.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- изучить влияние различных агрохимических приемов на продуктивность сельскохозяйственных культур в севообороте;
- выявить влияние различных агрохимических приемов на накопление <sup>137</sup>Cs в сельскохозяйственной продукции и её качество;
- провести анализ изменения основных агрохимических показателей почвы в зависимости от доз удобрений и минерального сырья и установить параметры агрохимических барьеров для различных сельскохозяйственных культур;
- установить влияние систематического применения удобрений на состояние баланса питательных веществ в почве в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения;
- определить экономическую эффективность агрохимических приёмов.

*Научная новизна и практическая значимость исследований.* Впервые в условиях радиоактивного загрязнения Брянской области в севообороте изучены нетрадиционные агрохимические приемы, ограничивающие поступление радионуклидов в продукцию; дана агроэкологическая оценка использования удобрений для создания агрохимических барьеров. Впервые наиболее полно рассмотрены изменения состояния почвенного плодородия при использовании различных реабилитационных мероприятий; разработаны эффективные агрохимические системы для возделывания сельскохозяйственных культур с целью получения экологически чистой продукции и предложены модели агрохимических барьеров для большинства сельскохозяйственных культур.

Исследования проводили в рамках следующих программ: «Ведение сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения на 1989 - 1993 гг.», «Комплексная программа научно-практических работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в юго-западных районах Брянской области на 1990-1991 гг.», «Единая Государственная программа по защите населения РФ от воздействия последствий



Чернобыльской катастрофы на 1992-1995 годы и период до 2000 года», «Программа преодоления последствий радиационных аварий на период до 2010 г.».

Исследования использованы при разработке дифференцированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и усовершенствовании защитных мероприятий в агропромышленном производстве зоны загрязнения, а также радиологической и агрохимической службой "России для разработки природоохранных мероприятий, основанных на применении средств химизации в различных почвенно-климатических условиях.

*Защищаемые положения:*

- динамика агроэкологических свойств почвы в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения;
- модели агрохимических барьеров для  $^{137}\text{Cs}$ ;
- - действие агрохимических приёмов на продуктивность сельскохозяйственных культур;
- • система агрохимических приёмов, обеспечивающая получение экологически безопасной продукции растениеводства;
- экономическая оценка реабилитационных мероприятий в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения.

*Апробация работы.* Результаты исследований по теме диссертации доложены на Международной научно-технической конференции «Проблемы ведения агропромышленного производства на радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных землях в отдаленный после Чернобыльской катастрофы период» (г. Брянск, 1999), Брянского отделения Докучаевского общества почвоведов РАН, 1999), на Международной научно-практической конференции «Технологические аспекты производства продукции растениеводства и животноводства (2004), на расширенном заседании кафедры лесных культур и почвоведения Брянской ГИТА (2004) и расширенном заседании специалистов Брянского Центра «Агрохимрадиология» (2004).

*Публикации.* Материалы диссертации опубликованы в 5 печатных работах и отражены в 10 отчетах о научно-исследовательской работе.

*Реализация результатов исследований.* Результаты исследований использованы для разработки новых технологий выращивания экологически чистой продукции растениеводства на радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных угодьях в сельхозпредприятиях различных форм собственности.

*Объём и структура диссертации.* Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 51 таблицу, 28 рисунков, список отечественной и зарубежной литературы из 161 наименования. Работа состоит из 6 глав, заключения, выводов, рекомендаций производственным организациям и приложений на 17 страницах.

#### Условия и методика проведения исследований

Место проведения исследований. Исследования по теме диссертации проведены с 1992 по 2001 год в СХПК «Красная Ипать» Новозыбковского района Брянской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в стационарных полевых опытах, в 10-типильном севообороте в предполесском ландшафте.

Исследования базировались на фундаментальных положениях экологии (Израэль, 1974; Одум, 1986;) и проводились согласно отраслевых стандартов по проведению полевых опытов с удобрениями (Полевые опыты ..., 1974; Опыты полевые ..., 1988) и с учётом методических подходов и рекомендаций И.В. Гулякина, Е.В. Юдинцевой (1973) и Б.А.Доспехова(1985)

В задачу опытов входило дать агроэкологическую оценку использования удобрений и цеолитов для создания агрохимических барьеров, обеспечивающих получение сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормам радиационной безопасности.

Опыты расположены в пространстве и времени. Каждая культура повторяется в двух-трех полях в течение двух-трех лет. Общая площадь делянки на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах составляет 200, а учётная - 50 м<sup>2</sup>. Повторность опыта 4-кратная, расположение делянок систематическое, чередование культур соответствует 10-польному севообороту. Агротехника возделывания культур на опытном участке общепринятая для данной зоны.

Перед закладкой опыта под циклооткрывающую культуру (картофель) по полной схеме вносились удобрения и мелиоранты. Из минеральных удобрений применяли аммиачную селитру (34%), суперфосфат гранулированный (19,7%), калий хлористый (60%). Одинарные дозы минеральных удобрений вносили из расчёта на получение запрограммированной величины урожая, а также полуторные и двойные дозы на ограничение поступления <sup>137</sup>Cs в продукцию. Минеральные удобрения из расчёта на планируемый урожай применяли ежегодно под каждую культуру перед посевом вразброс. Органические удобрения (навоз - 120т/га, торф - 120 т/га), доломитовую муку (3 т/га) и цеолит (5 т/га, 10 т/га, 15 т/га) вносили один раз за ротацию под циклооткрывающую культуру.

Схема чередования культур: картофель - ячмень - кукуруза - овес с подсевом многолетних трав - многолетние травы I года пользования - многолетние травы II года пользования — озимая рожь - вико-овсяная смесь - ячмень - озимая рожь. Сорты культур следующие: картофель - «Новинка»; ячмень - «Гонор»; кукуруза - «Коллективная» (F); овес - «Скакун»; многолетние травы - тимофеевка луговая; озимая рожь - «Пуховчанка».

Почва опытного участка - дерново-подзолистая легкосуглинистая, сформированная на водно-ледниковых отложениях. Пахотный генетический горизонт почвы опытного участка характеризуется следующими показателями: гумус - 4,39 %; рН<sub>кат</sub> - 6,0; гидролитическая кислотность - 1,59 мг-экв/100г почвы; сумма обменно-поглощенных оснований — 16,0 мг-экв/100г почвы; подвижный фосфор — 433 мг/кг почвы; обменный калий — 178 мг/кг почвы; обменный кальций - 6,7 мг-экв/100г почвы; обменный магний - 1,2 мг-экв/100г почвы, плотность загрязнения <sup>137</sup>Cs составляет 918,7 кБк/м<sup>2</sup>.

На всех вариантах опытов до их закладки и в период уборки культуры отбирали смешанные почвенные образцы на глубину 0-20 см тростьевым буром. Образцы основной и побочной продукции растений отбирали при уборке урожая.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения измеряли дозиметром ДРГ- 01 Т.

Методы. Почвенные и растительные образцы анализировали в специализированных инструментальных лабораториях Брянского государственного центра химизации и сельскохозяйственной радиологии. Агрохимический анализ почвенных и растительных образцов проводили стандартными методами, принятыми в агрохимической службе России (Петербургский, 1976; Аринушкина, 1980).

Ежегодно после уборки в почвенных образцах со всех делянок опыта определяли содержание подвижного фосфора и обменного калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО; рН<sub>ка</sub> - потенциметрически; гидролитическую кислотность - по методу Каппена в модификации ЦИНАО; сумму поглощенных оснований по методу Каппена в модификации ЦИНАО; цезий -137 - спектрометрически на гамма-спектрометрах типа «Гамма - 01С» и «Гамма - плюс» по методике ГНМЦ «ВНИИФТРИ».

Для математического анализа, обобщения и визуализации экспериментальных данных использовали современный аппарат математической статистики (Доспехов, 1985) и компьютерные программы MS Excel 2000, XLSTAT, MS Word 97.

Расчет экономической эффективности - по методу ЦИНАО.

Гидротермический коэффициент рассчитывается по Г.Т. Селянинову.

Климат Брянской области умеренно континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой с достаточным увлажнением, благоприятно сказывается на росте и развитии сельскохозяйственных культур. Сумма активных температур воздуха (выше 10°C) на территории области 2200-2400°C. Годовая сумма солнечной радиации - 90 ккал/см<sup>2</sup>. Самый холодный месяц - январь (-6,8°C), самый тёплый - июль (19,4°C). Изменение температуры воздуха имеет чётко выраженный сезонный характер. Весна наступает в третьей декаде марта и характеризуется быстрым нарастанием температуры с -1,8°C в марте до +6,7° в апреле и до 14,5°C в мае. Переход среднесуточной температуры через +10°C наступает в начале мая, далее идёт интенсивное нарастание до июля - первой декады августа (Агроклиматический справочник по Брянской области, 1960). В отдельные годы весна бывает затяжной с неустойчивой температурой и с несколькими волнами похолоданий, вплоть до возврата заморозков. Слабые атмосферные засухи наблюдаются каждый год, интенсивные - один раз в 3-10 лет. Чаще всего они бывают в июне, июле.

Среднее многолетнее количество осадков составляет 530-655 мм. Среднее многолетнее распределение осадков по территории области в течение года неравномерное. Максимальное количество осадков приходится на летний период и составляет за июнь-август 216,9 мм. Самый дождливый месяц июль - 77,1 мм.

Погодные условия за годы проведения исследований складывались не совсем благоприятно и отличались большим разнообразием. Из десяти лет три года были в достаточной степени обеспечены влагой (1993, 1994, 1998 гг.), 1992, 1996, 1997 и 2001 гг. были умеренными и 1995, 1999, 2000 гг. - острозасушливыми, особенно 1999 г. Последние годы характеризовались крайне низким запасом продуктивной влаги, летним дефицитом осадков и их крайне неравномерным выпадением. При этом температура воздуха намного превышала среднемноголетние значения.

Одним из факторов, определяющих перераспределение радиоцезия и типоморфных элементов в системе «почва-растение», являются условия увлажнения почвы. Оценку условий увлажнения в годы проведения исследований проводили по гидротермическому коэффициенту (ГТК). Гидротермический коэффициент определяется отношением количества осадков за период с устойчивой среднесуточной температурой воздуха выше + 10°C к сумме температур за этот период ( $I_t > 10^\circ\text{C}$ ), уменьшенной в 10 раз (табл. 1).

**Таблица 1. - Гидротермические коэффициенты в годы проведения исследований**

Годы	Месяцы					За вегетацию
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
1992	0,4	0,4	0,5	0,5	1,1	0,6
1993	0,3	1,2	2,5	1,0	5,4	2,1
1994	3,0	2,0	0,3	0,9	0,8	1,4
1995	2,6	0,8	0,7	1,5	3,6	1,8
1996	2,9	1,2	1,5	0,2	3,9	1,9
1997	1,5	1,9	2,0	1,0	2,2	1,7
1998	1,7	1,0	2,5	1,7	1,5	1,7
1999	1,9	0,4	1,0	1,2	1,2	1,1
2000	1,9	0,9	4,6	0,5	1,6	1,9
2001	1,0	1,3	1,2	1,1	0,9	1,1
<b>Среднемноголетние данные</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>

Анализ величин ГТК показывает, что в течение всего периода проведения исследований условия увлажнения были удовлетворительные, за исключением 1992 года, когда условия увлажнения были недостаточные для роста и развития растений. Если смотреть по месяцам, то недостаток влаги испытывали растения в летние месяцы 1994 (июль, август, сентябрь), 1995 (июнь, июль), особенно резкий недостаток влаги наблюдался в августе 1996, в июне 1999 и августе 2000 годов.

## Результаты исследований

### Динамика агрохимических свойств почвы под влиянием средств химизации

**Влияние агрохимических приемов на содержание основных элементов питания растений.** Определяющими факторами плодородия почвы является повышенная почвенная кислотность, низкая обеспеченность гумусом, подвижным фосфором и обменным калием. Доведение этих параметров почвенного плодородия до оптимальных величин является важнейшим фактором получения стабильных высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Результаты проведенных исследований показали, что при длительном применении различных систем удобрений наблюдается, хотя и незначительное, увеличение содержания гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве по сравнению с контролем, что связано с урожайностью сельскохозяйственных культур, и соответственно, с количеством оставляемых корневых и пожнивных остатков. Изучение динамики гумусного состояния почвы (рис. 1-3) выявило уменьшение абсолютного содержания гумуса в почве при применении минеральных систем удобрений в чистом виде и в сочетании с различными дозами цеолита к концу ротации севооборота, положительное влияние оказала органо-минеральная система удобрений. Применение доломитовой муки на фоне NPK также не оказало положительного результата, так как известкование увеличивает минерализацию органического вещества.



Рис. 1. Влияние цеолита на содержание гумуса

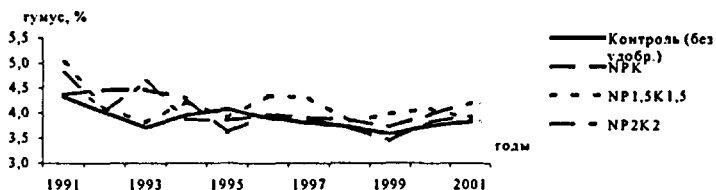


Рис. 2. Влияние NPK на содержание гумуса



Рис. 3. Влияние органических удобрений и доломитовой муки на содержание гумуса

Применение минеральных систем удобрений в чистом виде и в сочетании с различными компонентами привело к увеличению кислотности почвы на 0,2-0,3 единицы

pH, кроме контроля и варианта с доломитовой мукой, а также к значительному увеличению к концу ротации севооборота на всех вариантах опыта наблюдается ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе (рис.4 — 6).



Рис. 4. Влияние цеолита на величину pH

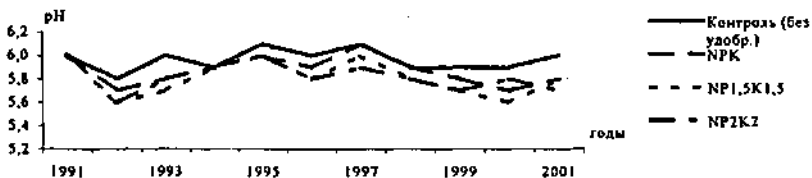


Рис. 5. Влияние NPK на величину pH

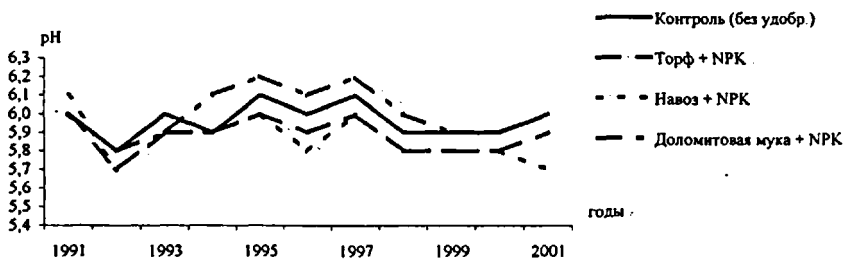


Рис. 6. Влияние органических удобрений и доломитовой муки на величину pH

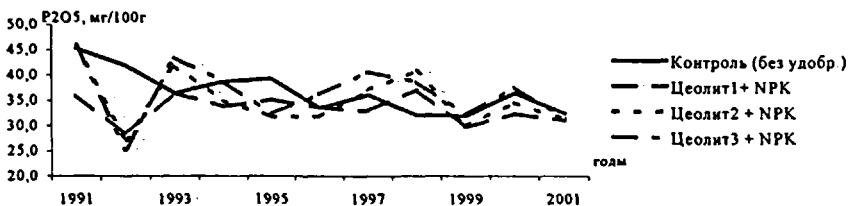


Рис. 7. Влияние цеолита на содержание фосфора

В проводимых исследованиях установлено (рис. 7 - 9), что в 10-польном севообороте применяемые дозы фосфорных удобрений, рассчитанные на запланированный урожай, не обеспечивают сохранения созданного уровня фосфатного режима.



Содержание подвижных фосфатов постоянно снижается в севообороте во всех вариантах опыта на 12-33 %, независимо от применяемых систем удобрений, что естественно сказывается на продуктивности возделываемых культур, и соответственно, на накоплении радионуклидов в единице массы продукции.

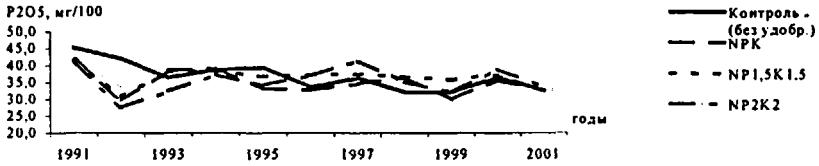


Рис. 8. Влияние NPK на содержание Фосфора

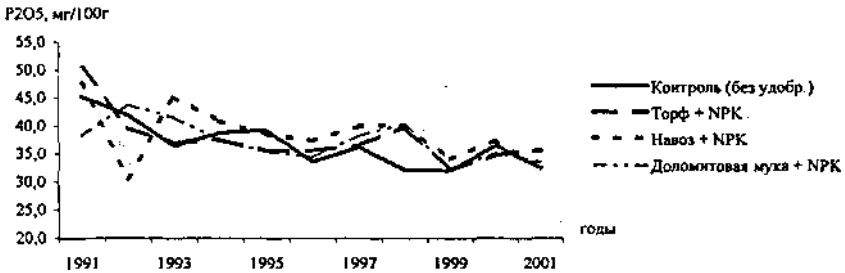


Рис. 9. Влияние органических удобрений и доломитовой муки на содержание

Необходимо отметить, что содержание подвижных фосфатов в почве в вариантах с ежегодным внесением одинарных, полуторных и двойных доз фосфорных удобрений было одинаковым. Высокие дозы удобрений в данном случае не способствуют улучшению фосфоритного режима почв.

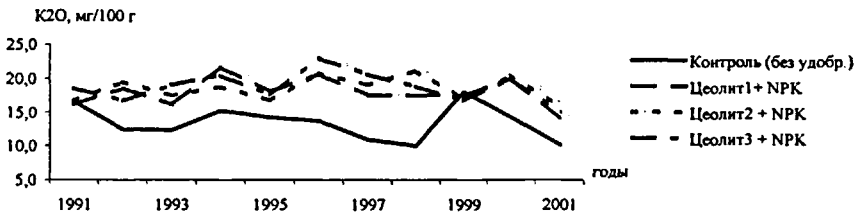


Рис. 10. Влияние цеолита на содержание калия

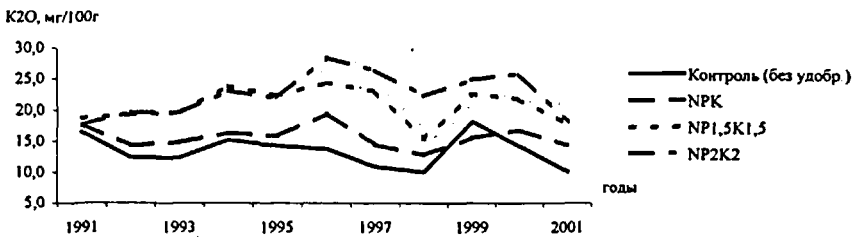


Рис. 11. Влияние NPK на содержание калия

Исследуемые системы удобрений в севообороте показали (рис. 10 -12), что применение калийных удобрений как в чисто минеральной системе, так и в сочетании с органическими удобрениями и различными дозами цеолита не оказало влияния на увеличение обменного калия в почве. При внесении калийных удобрений в севообороте в дозах, рассчитанных на запланированный урожай, во всех вариантах опыта, кроме варианта с двойными дозами, снизилось содержание обменного калия в почве. Уменьшение обменного калия в почве можно объяснить, по всей видимости, фиксацией его глинистыми минералами и значительной подвижностью в легких по механическому составу почвах.

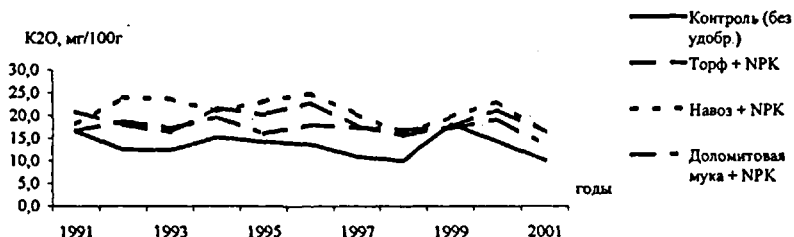


Рис. 12. Влияние органических удобрений и доломитовой муки на содержание

Результаты проведенных исследований показывают, что применяемые системы не оказали существенного влияния на содержание кальция и магния в почве. Во всех вариантах опыта, кроме варианта с двойной дозой цеолита и доломитовой мукой на фоне NPK, наблюдается уменьшение их содержания в почве.

В наших исследованиях установлено, что все изучаемые приемы отрицательно влияли на количество обменных катионов. Во всех вариантах опыта наблюдалось уменьшение суммы обменных катионов в почве. В зависимости от применяемых приемов величина снижения содержания обменных катионов колебалась от 6,2 % (вариант с торфом + NPK) до 35,5 % (навоз + NPK), что может способствовать ухудшению качества продукции.

Определение степени влияния различных агрохимических приемов на изменение основных агрохимических показателей почвы и установления различий между вариантами проводили методом дисперсионного анализа. Все изучаемые агроприемы по влиянию на состояние почвенного плодородия сравнивали с контролем (табл. 2).

Таблица 2. Данные однофакторного дисперсионного анализа ( $F_{теор} = 4,35$ )

Группы	Показатели							
	гумус	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Hг	Ca	Mg	S
	$F_{факт}$							
Цеолит <sub>1</sub> +NPK	6,37	10,49	4,92	19,58	0,85	1,39	0,15	0,06
Цеолит <sub>2</sub> +NPK	3,75	13,99	0,51	27,23	1,50	1,40	0,12	0,93
Цеолит <sub>3</sub> +NPK	6,52	10,32	0,004	26,66	1,11	3,30	0,29	0,018
NPK	3,25	3,68	1,17	5,39	0,50	1,69	0,14	0,41
NP <sub>1,5</sub> K <sub>1,5</sub>	4,49	8,35	0,027	39,95	0,78	0,63	0,003	0,20
NP <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0,78	9,62	0,061	46,78	0,65	0,07	0,22	14,48
Торф+NPK	34,75	4,05	0,23	25,84	0,92	11,06	0,38	20,21
Навоз+NPK	34,87	4,38	0,79	37,58	0,60	9,41	0,29	2,60
Доломитовая мука+NPK	9,30	0,89	0,09	17,22	0,02	4,36	0,80	7,00

Результаты однофакторного дисперсионного анализа указывают на неодинаковое влияние изучаемых агрохимических приёмов на динамику основных питательных элементов в почве. Существенные различия между контролем и вариантами с органическими удобрениями указывают на то, что изменение содержания гумуса определяется их внесением, изменение реакции почвенной среды более прослеживалось при внесении цеолита, независимо от дозы внесения, и полуторных и двойных доз фосфорно-калийных удобрений, содержание калия достоверно изменялось при применении всех изучаемых систем. Динамика фосфора в почве не зависела от применяемых удобрений и минеральных образований, поскольку его поведение в большей мере определяется условиями увлажнения и биологическими особенностями культур. На содержание остальных почвенных показателей (Нг, Са, Mg, S) изучаемые приёмы не оказали практических никакого влияния, что и подтвердилось отсутствием различий между сопоставляемыми группами.

В целом мероприятия, направленные на сохранение и повышение почвенного плодородия, обеспечивают получение максимального урожая сельскохозяйственных культур и одновременно способствуют снижению накопления радионуклидов в растениеводческой продукции и кормах.

**Баланс гумуса, фосфора и калия за ротацию севооборота.** Исследование баланса гумуса, фосфора и калия в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения почв, является важнейшим условием оценки ведения земледелия, его научного обоснования и получения сельскохозяйственной продукции, отвечающей требованиям санитарных норм.

В 10-польном зерно-травяном севообороте при высоком содержании гумуса для дерново-подзолистых почв (более 4%) с двумя полями многолетних и одним полем однолетних трав к концу ротации во всех вариантах опыта сложился положительный баланс гумуса. Наибольшее влияние на баланс гумуса за ротацию севооборота оказало применение органических удобрений совместно с минеральными (варианты торф +NPK и навоз +NPK), и возделывание в системе севооборота многолетних трав и бобово-злаковой смеси на силос.

Исследованиями установлено, что при высокой обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором (более 400 мг/кг) и повышенном содержании обменного калия (более 170 мг/кг) при систематическом применении фосфорных и калийных удобрений, особенно в повышенных дозах, сохраняется положительный баланс этих элементов в севообороте. Наибольший эффект по балансу этих элементов наблюдается при совместном внесении органических и минеральных удобрений. Наибольшее количество фосфора потребляют многолетние травы I года пользования. При их возделывании независимо от применяемых систем удобрений сложился отрицательный баланс фосфора. Отзывчивы на фосфор кукуруза и многолетние травы II года пользования. При положительном балансе этого элемента абсолютные величины накопления его в почве на различных вариантах в 2-4 раза меньше, чем под другими культурами севооборота.

Аналогичная картина наблюдается при расчёте баланса калия. Высокую потребность в нём в севообороте испытывают кукуруза, многолетние травы, особенно I года пользования, и незначительное его количество накапливается под некоторыми вариантами с многолетними травами II года пользования. Значительное его количество накапливается под овсом, озимой рожью после многолетних трав и ячменём после вико-овсяной смеси.

В целом по севообороту для фосфора и калия сложился положительный баланс при применении всех изучаемых агрохимических приёмов. За 10 лет исследований лучший результат отмечен в вариантах при применении полуторных +168,4 кг/га по фосфору и +288,0 кг/га по калию и при применении двойных доз фосфорных и калийных удобрений +215,0 кг/га  $P_2O_5$  и +387,5 кг/га  $K_2O$  при совместном внесении органических и минеральных удобрений.

**Действие агрохимических приемов на поведение цезия-137 в почве.** Результаты проведенных исследований показывают во всех вариантах опыта к концу ротации

севооборота закономерное снижение абсолютного количества радиоцезия в почве, что связано с естественным распадом радионуклидов, биологическим выносом культур и особенностями воздействия на почвенные процессы изучаемых средств химизации. Величина снижения варьировала от 219,4 кБк/м<sup>2</sup> или 22,5% (табл. 3) в варианте с одинарной дозой NPK до 434,0 кБк/м<sup>2</sup> или 38,4% в варианте с двойной дозой NPK.

**Таблица 3. - Величина снижения активности почв, %**

Показатели	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активность <sup>137</sup> Cs, кБк/м <sup>2</sup> (до закладки)	1006,0	976,3	1031,3	1001,2	1081,3	1012,5	1027,8	1019,6	1031,1	1131,0
В конце ротации	704,6	756,9	805,8	749,9	722,3	725,4	704,8	692,4	662,4	697,0
% снижения	30,0	22,5	21,9	25,1	33,2	28,4	31,4	32,1	35,8	38,4

**Модели агрохимических барьеров в условиях радиоактивного загрязнения для основных сельскохозяйственных культур.**- В настоящей работе рассматриваются управляемые показатели плодородия почв - содержание гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и кислотность. Эти показатели можно быстро поправить средствами химизации и применением органических удобрений, и тем самым повысить экологическую радиоустойчивость почвенного покрова, и обеспечить благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, а следовательно, и для снижения поступления радионуклидов в урожай.

Поступление радионуклидов в растения зависит от основных управляемых агрохимических параметров плодородия почв, которые можно расположить в следующей ряд: содержание гумуса > содержание обменного калия > величина рН > содержание подвижного фосфора. Это явление доказано исследованиями Н.И. Санжаровой с сотр.(1997), А.Н. Ратникова и сотр.(1997), Г.Т. Воробьева и сотр.(2002).

Действие гумуса, обменного калия, почвенной кислотности, подвижного фосфора происходит в сложных комбинациях друг с другом, мы посчитали целесообразным объединить их в агрохимическую антирадиационную модель плодородия почв для основных сельскохозяйственных культур (табл. 4).

Понятие агрохимические барьеры нами введено для обозначения такого состояния почвенного плодородия, достижение параметров которого резко изменяет условия поступления; радионуклидов в растения, и обеспечивает получение продукции растениеводства, соответствующей требованиям санитарно-гигиенических нормативов.

**Таблица 4. - Агрохимическая составляющая моделей плодородия дерново-подзолистой почвы, загрязнённой <sup>137</sup>Cs**

Культура	Показатели							
	рН(KCl)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		K <sub>2</sub> O		Гумус	
	оптим.	агро-хим. барьер	оптим.	агро-хим. барьер	оптим.	агро-хим. барьер	оптим.	агро-хим. барьер
Оз. рожь	5,5-6,0	5,8-6,6	150-200	250-280	150-200	210-230	1,9-2,3	2,5-3,0
Ячмень	6,0-6,5	6,6-7,0	150-200	220-250	190-220	250-280	2,1-2,5	3,1-3,5
Овес	5,5-6,0	5,8-6,6	120-150	180-200	150-170	200-220	2,1-2,5	2,6-3,0
Картофель	5,1-5,5	5,6-6,3	200-250	280-300	200-300	350-400	2,5-3,0	3,1-4,0
Кукуруза	6,0-6,5	6,6-7,2	150-200	250-300	200-220	250-300	2,5-3,0	3,1-4,0
Одн. травы	5,5-6,0	5,6-6,6	200-230	250-300	180-200	250-300	2,1-2,5	2,6-3,0
Мн. травы	5,1-5,6	5,8-6,6	150-180	200-250	180-200	230-250	2,1-2,5	2,6-3,0

Статистическая обработка экспериментального материала методом множественной-линейной регрессии позволила установить зависимость между величинами агрохимических показателей почвы и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  в урожае основных сельскохозяйственных культур (табл. 5). Судя по коэффициенту множественной детерминации ( $R^2$ ) вариации накопления радионуклида в урожае сельскохозяйственных культур значительно различаются. По мере падения величин агрохимических показателей их влияние на размеры перехода  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию увеличивается даже при высоком уровне плодородия.

Таблица 5. Зависимость содержания  $^{137}\text{Cs}$  в урожае сельскохозяйственных культур от состояния почвенного плодородия

Культура	Уравнение множественной регрессии	R	R <sup>2</sup>
Картофель	$Y = 129,30 - 2,22X^* - 14,10Z + 0,19E - 1,00A$	0,39	0,15
Ячмень	$Y = - 74,03 - 5,13X + 22,29Z + 0,03E - 0,38A$	0,41	0,16
Кукуруза	$Y = 1309,1 - 59,72X - 81,65Z - 4,01E - 12,24A$	0,58	0,34
Овёс	$Y = 277,19 - 12,37X - 19,29Z - 0,5E - 3,14A$	0,63	0,39
Многолетние травы I г. п.	$Y = - 81,27 - 21,59X + 60,57Z - 2,56E - 1,22A$	0,43	0,18
Многолетние травы II г. п.	$Y = 824,70 + 6,13X - 118Z + 0,43E - 5,66A$	0,50	0,25
Озимая рожь	$Y = - 80,41 - 0,80X + 16,66Z + 1,25E - 2,09A$	0,47	0,22
Однолетние травы	$Y = -992,83 - 87,09X + 265,94Z + 1,54E - 9,24A$	0,55	0,31
Ячмень	$Y = 55,77 - 2,29X - 3,37Z + 0,007E - 0,84A$	0,68	0,46
Озимая рожь	$Y = 12,07 - 3,03X + 3,67Z + 0,54E - 1,81A$	0,70	0,49

\* примечание: X - содержание гумуса, %; Z - величина рН; E - содержание P2O5, мг/100 г почвы; A - содержание K<sub>2</sub>O, мг/100 г почвы.

#### Влияние агрохимических приёмов на продуктивность сельскохозяйственных культур

Основные пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур определяются совокупностью применения агротехнических и агрохимических приёмов. При ведении современного земледелия интересы экологии требуют расширенных исследований по оптимизации систем применения удобрений в целях получения экологически чистой продукции. В условиях радиоактивного загрязнения острой проблемой является получение нормативно чистой продукции по содержанию радионуклидов.

Изучение влияния различных агрохимических приемов в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения почв выявило положительное их влияние на урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур.

При применении навоза на фоне NPK в среднем за три года прибавка урожая составила 40 ц/га, торфа + NPK - 34 ц/га, двойной дозы фосфорно-калийных удобрений - 31 ц/га по сравнению с контролем.

Урожайность зерна ячменя в среднем за три года без применения удобрений составила 16,7 ц/га. Наибольший эффект получен при применении навоза совместно с минеральными удобрениями, прибавка 9,2 ц/га по сравнению с контролем и цеолитом + NPK - 9,0 ц/га.

Урожайность зеленой массы кукурузы в среднем за три года на контроле составила 333,0 ц/га. Применяемые агрохимические приемы оказали существенное влияние на урожайность зеленой массы. Во всех вариантах опыта рост урожайности зеленой массы кукурузы по отношению к контролю составил 1,9-2,3 раза. Наибольший эффект получен в вариантах торф + NPK (прибавка 441 ц/га), цеолит + NPK (422 ц/га) и навоз + NPK (411 ц/га).

Изучение применяемых систем удобрений в севообороте показало, что достоверного влияния их действия на урожайность овса не выявлено. При оптимальных параметрах почвенного плодородия овёс практически не реагировал на внесение удобрений.

Достоверные прибавки урожая зеленой массы многолетних трав как первого, так и второго года пользования получены при применении всех изучаемых систем, кроме одинарной дозы NPK. Наибольший эффект получен при применении двойных доз фосфорно-калийных удобрений, прибавка зелёной массы трав I г.п. составила 65,6 ц/га, II г.п. 62,6 ц/га. Существенная прибавка была и в варианте с цеолитом 5 т/га + NPK, 60 ц/га.

Действие изучаемых агрохимических приемов оказало существенное влияние на урожайность озимой ржи, возделываемой по пласту многолетних трав. Во всех вариантах опыта получены достоверно значимые прибавки зерна по отношению к контролю. Прибавка от применения удобрений колебалась от 8,1 до 12,7 ц/га. Самые большие прибавки урожая зерна получены в варианте цеолит + NPK (12,7 ц/га), доломитовая мука + NPK (12,0 ц/га), и двойные дозы фосфорно-калийных удобрений (11,9 ц/га).

Применение удобрений и цеолитов оказало существенное влияние на урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси. Наиболее высокая урожайность зеленой массы (270 ц/га) получена от применения двойной дозы фосфорно-калийных удобрений (прибавка 81 ц/га) и в вариантах цеолит + NPK и торф + NPK (прибавка 74 ц/га). В системе севооборота значительная роль в повышении урожайности зерновых культур принадлежит предшествующей культуре, а именно, органической массе корневых остатков многолетних трав растений.

Изучаемые системы удобрений оказали положительный эффект на урожайность ячменя. Во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение урожая зерна в 1,8...2 раза по сравнению с контролем. Наибольшая прибавка в среднем за два года получена в варианте цеолит+2+NPK (8 ц/га), и в вариантах цеолиту NPK (7,6 ц/га), доломитовая мука + NPK, торф + NPK (7,5 ц/га). Необходимо отметить, что поскольку внесённые вначале ротации органические и известковые удобрения (действие и последствие 4-5 лет) уже не оказывают существенного влияния на продуктивность возделываемых в севообороте культур, значительная роль в их питании, наряду с минеральными удобрениями, принадлежит предшественнику, в данном случае, вико-овсяной смеси.

Рост урожайности зерна озимой ржи наблюдался во всех вариантах опыта. Наибольший эффект получен при применении цеолита + NPK (прибавка 12,6 ц/га) и торфа с минеральными удобрениями (прибавка 11,1 ц/га).

Одним из показателей, определяющим эффективность применяемых систем удобрений и цеолитов, является продуктивность севооборота (табл. 6), выраженная в зерновых единицах. Анализ полученных данных показывает, что наиболее эффективными были органико-минеральные системы. Максимальное их действие проявилось в первый год внесения под картофель, урожайность с внесением навоза составила 39,3 ц/га з.е., с применением торфа - 37,8 ц/га з.е.

На основании проведенных десятилетних исследований по изучению влияния различных доз удобрений и цеолитов на урожайность сельскохозяйственных культур прослеживается некоторая закономерность по воздействию изучаемых агрохимических приемов на урожайность. В начале исследований наибольший эффект дало совместное применение органических и минеральных удобрений, последствие которых отмечалось и на третий год исследований. На урожайность зеленой массы многолетних трав, как первого, так и второго года пользования, а также вико-овсяной смеси наибольшее влияние оказало применение двойной дозы фосфорно-калийных удобрений. Для озимой ржи наиболее эффективным приемом было совместное применение цеолита в дозе 5 т/га с минеральными удобрениями.

**Таблица 6. – Влияние агрохимических приёмов на продуктивность севооборота**

Варианты	Урожайность, ц/га з. е.										за севооборот
	Картофель	Ячмень	Кукуруза	Овес	Мн.травы I г.п.	Мн.травы II г.п.	Оз.рожь	Од.летние травы	Ячмень	Оз.рожь	
Контроль	29,3	20,9	56,6	23,7	8,9	14,5	16,0	18,9	10,5	16,1	215,4
НПК	33,0	28,3	112,0	24,2	14,0	20,5	28,7	22,5	18,8	27,8	329,8
Цеолит <sub>1</sub> + NPK	34,3	32,1	123,6	23,5	15,0	21,7	31,2	24,4	20,0	31,2	357,0
Цеолит <sub>2</sub> + NPK	34,8	29,0	120,7	23,1	15,5	21,0	25,7	24,9	20,5	24,1	339,3
Цеолит <sub>3</sub> + NPK	35,0	30,5	128,4	22,2	15,9	21,5	27,1	26,3	19,8	25,8	352,5
Доломитовая мука +NPK	34,5	30,8	110,3	23,4	14,9	20,3	30,4	22,9	19,9	27,0	334,2
Торф +NPK	37,8	29,9	131,6	24,6	17,3	18,7	29,3	26,3	19,9	29,4	364,8
Навоз +NPK	39,3	32,4	126,5	26,0	15,5	20,5	29,4	25,8	18,9	27,1	361,4
NP <sub>1,5</sub> K <sub>1,5</sub>	35,5	30,1	121,4	23,4	16,0	21,0	29,2	26,0	19,5	26,5	348,8
NP <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	37,0	29,9	109,5	24,7	16,8	22,0	30,2	27,0	19,1	27,4	343,6

Экологическое качество сельскохозяйственной продукции при применении различных агрохимических приёмов

Влияние агрохимических приёмов на биохимический состав растений. В условиях техногенного загрязнения качество производимой продукции должно включать не только биохимический состав, но и её безопасное использование. Проблема повышения экологического качества продукции растениеводства в условиях радиоактивного загрязнения остаётся довольно острой. Изменение качественных показателей зависит от воздействия множества факторов, и в первую очередь, почвенных условий на фоне различных агрохимических приёмов. Влияние свойств почвы и удобрений на качество продукции зависит от видовых особенностей культур, их отзывчивости на её физико-химические свойства, а также от применяемых систем удобрений в определённых условиях.

*В клубнях картофеля* при применении изучаемых систем удобрений наблюдалось уменьшение содержания сухого вещества, кроме вариантов с повышенными дозами фосфорно-калийных удобрений, ухудшение крахмалистости клубней и снижение содержания витамина С, кроме варианта с торфом на фоне NPK. Во всех вариантах опыта увеличилось содержание азота, калия и в большинстве вариантов фосфора.

*В зерне ячменя* наблюдалось самое высокое содержание белка, как основного показателя качества зерна, при совместном внесении цеолита в дозе 5 т/га и NPK, в остальных вариантах опыта его содержание снизилось по сравнению с контролем. В большинстве вариантов опыта содержание азота и калия в зерне ячменя уменьшилось, содержание фосфора практически не снизилось по сравнению с контролем.

*В зеленой массе кукурузы* наблюдали увеличение содержания азота и калия во всех вариантах опыта. Максимальное содержание азота отмечено в варианте с одинарной дозой минеральных удобрений и в варианте цеолит2 + NPK.

*В зерне овса* в среднем за 3 года применяемые системы удобрений увеличили содержание белка на 1,59 - 3,77 % по сравнению с контролем, азота и калия и уменьшили содержание фосфора. Самое высокое содержание белка - 13,58% отмечено при совместном применении цеолита в дозе 5 т/га и одинарной дозы минеральных удобрений.

*В сене многолетних трав I года пользования* в среднем за три года содержание азота, кроме варианта с двойной дозой фосфорно-калийных удобрений, фосфора, кроме

варианта с торфом на фоне NPK и вариантов с цеолитом 5 т/га и двойной дозы РК, и калия увеличилось во всех вариантах опыта. Максимальное увеличение азота было в варианте с доломитовой мукой на фоне NPK, фосфора и калия при внесении полуторной дозы фосфорно-калийных удобрений.

*Всеземнолетние травяные* II года пользования наблюдали увеличение содержания азота и калия независимо от применяемых систем удобрений и варьирование по годам и вариантам фосфора.

*В зерне озимой ржи* увеличилось содержание белка с 0,25% в варианте с доломитовой мукой на фоне NPK до 1,42% в варианте с цеолитом 5 т/га на фоне NPK, кроме варианта с навозом на фоне NPK, по сравнению с контролем. Практически во всех вариантах опыта наблюдали увеличение содержания азота, и уменьшение фосфора и калия.

*В травяной муке вико-овсяной смеси* в среднем за три года содержание основных макроэлементов (азота, фосфора, кальция и по большинству вариантов калия) и протеина было ниже во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Наблюдалось увеличение клетчатки независимо от применяемых приёмов, максимальное её увеличение было в варианте с полуторной дозой фосфорно-калийных удобрений (2,58%).

*В зерне ячменя* наблюдали увеличение содержания азота, белка и калия во всех вариантах опыта по отношению к контролю, и содержание фосфора на уровне контроля, кроме варианта с двойной дозой фосфора. Наиболее эффективными системами по влиянию на содержание белка были цеолит в дозе 5 т/га на фоне NPK (13,28%), и одинарная доза NPK (13,13%). Проводимые исследования выявили положительное влияние изучаемых агрохимических приёмов и предшественника (вико-овсяная смесь) на качество зерна ячменя.

В завершающий год ротации севооборота изучаемые системы удобрений практически не оказали влияния на качество зерна озимой ржи, но в то же время и не ухудшили его.

Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в: растениеводческой продукции при применении агрохимических приёмов. Качество сельскохозяйственной продукции, выращенной на загрязненной радионуклидами территории, является основным показателем санитарно-гигиенического благополучия населения, проживающего в данной местности. Целесообразность научных исследований по влиянию уровня плодородия почв и удобрений, обеспечивающих уменьшение размеров перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения, связана с охраной здоровья человека путём снижения радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и возвращением к обычному виду землепользования.

*В клубнях картофеля* содержание  $^{137}\text{Cs}$  в среднем за три года варьировало от 37,7 (контроль) до 18,7 (навоз + NPK) Бк/кг, в ботве - от 463,7 до 732,7 Бк/кг. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в вегетативной массе в 16-26 раз выше, чем в репродуктивной. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в клубни уменьшилось от одинарной дозы NPK в 1,6, полуторной и двойной - в 1,4, от дозы цеолита 5 т/га и 10 т/га на фоне NPK в 1,4, доломитовой муки на фоне NPK в 1,3, от совместного внесения торфа и NPK в 1,7, навоза и NPK 2 раза.

*В зерне ячменя* содержание  $^{137}\text{Cs}$  составляло 19,3 - 30, а в соломе 166 - 345,7 Бк/кг. Минимальное его накопление в зерне (19,3 Бк/кг) отмечали в варианте торф + NPK. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  соломе в 7,0 - 11,5 раз выше, чем в зерне. Применение различных доз минеральных удобрений позволило снизить содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя в 1,2 - 1,5, в соломе в 1,3-1,9 раза. Органические удобрения совместно с минеральными уменьшили накопление радиоцезия в зерне в 1,3 - 1,6, в соломе 1,9 - 2,1 раза, доломитовая мука совместно с NPK в зерне в 1,4, в соломе в 1,2 раза.

*В зеленой массе кукурузы* содержание  $^{137}\text{Cs}$  составило 101,7 - 296,7 Бк/кг. Минимальное его накопление было в варианте навоз + NPK (101,7 Бк/кг), максимальное - на контроле (296,7 Бк/кг). Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассу кукурузы уменьшилось по всем изучаемым системам удобрений по отношению к контролю в 1,3 - 2,9 раза.

*В зерне овса* содержание  $^{137}\text{Cs}$  при применении агрохимических приемов колебалось от 19,7 до 53,3 Бк/кг, в соломе от 107,7 до 251,3 Бк/кг. Максимальное его накопление в



зерне и соломе наблюдали в контрольном варианте, 63,3 и 449,7 Бк/кг соответственно, минимальное - в зерне было в варианте с применением двойной дозы фосфорно-калийных удобрений - 19,7 Бк/кг, в соломе - в варианте навоз + NPK - 107,7 Бк/кг. Кратность снижения  $^{137}\text{Cs}$  по вариантам составила от 1,2 (NPK) до 3,2 (NPK<sub>2</sub>) раза.

*В зеленой массе многолетних трав* I года пользования содержание  $^{137}\text{Cs}$  колебалось от 51,7 до 151,7 Бк/кг, II года пользования - от 51,7 до 145,0 Бк/кг. Максимально загрязненной была зеленая масса в контрольном варианте независимо от года возделывания.

Минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе трав I года пользования наблюдали в варианте с применением навоза и NPK - 51,7 Бк/кг, II года пользования в варианте цеолит в дозе 5т/га + NPK - 51,7 Бк/кг. Кратность снижения 2,9 и 2,8 раза соответственно по сравнению с контролем.

*В зерне озимой ржи* содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьировало в вариантах опыта от 13,7 до 37,7, в соломе — от 20 до 63,3 Бк/кг. Абсолютная величина накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе озимой ржи при внесении удобрений во всех вариантах были в 1,3 — 2,8 раза меньше по сравнению с контролем. Двойная доза фосфорно-калийных удобрений снизила содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне озимой ржи в 2,8, в соломе 3,2, доломитовая мука + NPK - в зерне в 2,4, в соломе в 2,5, органо-минеральная - в зерне в 1,9, в соломе в 2,9 раза.

*в зелёной массе однолетних трав* содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьировало от 48,7 до 260 Бк/кг. Минимальное его содержание (48,7 Бк/кг) отмечено в варианте с двойной дозой фосфорно-калийных удобрений. Минимальный эффект получен в варианте с одинарной дозой удобрений. Кратность снижения по всем вариантам составляет 2,5 - 5,3 раза.

*В зерне ячменя* содержание радионуклида колебалось от 6,0 до 16,0, а в соломе - от 8,0 до 22,0 Бк/кг. Абсолютная величина накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе ячменя во всех вариантах опыта была ниже контроля в 1,1 - 2,7 и 1,5 - 2,8 раза соответственно.

Изучение влияния агрохимических приёмов на экологическое качество зерна ячменя (второе поле) показало, что по сравнению с 1993 - 1995 гг. исследований, где максимальный эффект на размеры перехода оказала органо-минеральная система (торф + NPK), в 2001-2002 гг. большую роль в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя сыграли минеральные удобрения и предшественник ( вико-овсяная смесь).

*В зерне и соломе озимой ржи* содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьировало от 6,5 до 24,5 и от 13,5 до 34,0 Бк/кг соответственно. Минимальное его накопление как в зерне, так и в соломе, отмечали в варианте с двойной дозой фосфорно-калийных удобрений. Кратность снижения радионуклида по сравнению с контролем - 3,9 и 2,5 раза соответственно.

Различные дозы удобрений неодинаково влияли на снижение поступления радиоцезия из почвы в растения. Одинарные дозы NPK уменьшили поступление  $^{137}\text{Cs}$  в клубни картофеля, в зерно ячменя (1-ое поле), в зелёную массу кукурузы и в зерно озимой ржи (1-ое поле) - в 1,5, в зерно овса - в 1,2, в зелёную массу многолетних трав - в 2,2 (I года пользования), и в 2,1 (II года пользования), в зелёную массу однолетних трав — в 2,4, в зерно ячменя (2-ое поле) - в 1,3, в зерно озимой ржи (2-ое поле) - в 2,3 раза.

Полуторные дозы фосфорно-калийных удобрений снизили содержание радионуклида в клубнях картофеля в 1,4, в зерне ячменя - в 1,6, в зелёной массе кукурузы - в 2,5, в зерно овса - в 2,2, в зелёной массе многолетних трав — в 2,4 (I года пользования), и в 2,4 (II года пользования), в зерно озимой ржи (1-ое поле) - в 2,4, в зелёной массе однолетних трав - в 4,9, в зерно ячменя (2-ое поле) - в 1,9, в зерно озимой ржи (2-ое поле) - в 3,2 раза.

Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  при внесении двойных доз фосфорно-калийных удобрений уменьшилась в клубнях картофеля в 1,6, в зерне ячменя (1-ое поле) - в 1,2, в зелёной массе кукурузы - в 2,1, в зерно овса - в 3,1, в зелёной массе многолетних трав - в 2,6 (I года пользования), и в 2,0 (II года пользования), в зерно озимой ржи (1-ое поле) - в 2,6, в зелёной массе однолетних трав - в 5,4, в зерно ячменя (2-ое поле) — в 2,6, в зерно озимой ржи (2-ое поле) - в 3,9 раза.

В целом по 10-польному севообороту эффективность снижения перехода  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию растениеводства от одинарной дозы фосфорно-калийных удобрений составила 17,5, полудвойной - 24,9, двойной - 27,1% от действия и последствия одинарной и двойной дозы цеолита на фоне NPK - 2,2, от двойной дозы была на уровне одинарной дозы минеральных удобрений, от совместного применения торфа и NPK - 21,5, навоза и NPK - 24,7, от совместного внесения доломитовой муки и минеральных удобрений - 19,6 раза.

Поступление радионуклида из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в сельскохозяйственные растения определяется рядом факторов, а именно: содержанием радионуклида в почве, биологическими особенностями культур, обеспеченностью элементами питания и применяемыми системами удобрений. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, агрохимические мероприятия, направленные на повышение плодородия почв, обеспечивают получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур и ограничивают поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения.

Экономическая эффективность цеолитов и удобрений в севообороте в условиях радиоактивного загрязнения

Наибольшая оплата продуктивности севооборота была в вариантах с совместным применением торфа и навоза с минеральных удобрений и составила 117 и 119 % соответственно. Полудвойные и двойные дозы фосфорных и калийных удобрений были менее эффективными (73 и 56% от норматива).

Самыми эффективными агроприемами в наших опытах являются применение цеолита в дозе 5; 10, 15 т/га на фоне NPK, условно чистый доход составил 1,4, 1,35 и 1,22 рубля на 1 рубль затрат соответственно, а также торфа и навоза на фоне NPK, условно чистый доход составил 1,22 и 1,19 рубля соответственно.

Наибольшая рентабельность получена при применении одинарной дозы цеолита на фоне минеральных удобрений 140 %.

## ВЫВОДЫ

1. Изучение динамики гумусного состояния почвы выявило уменьшение содержания гумуса в почве при применении минеральных систем удобрений в чистом виде и в сочетании с различными дозами цеолита к концу ротации севооборота
2. Применение минеральных систем удобрений в чистом виде и в сочетании с различными компонентами привело к увеличению кислотности почвы на 0,2-0,3 единицы рН, кроме контроля и варианта с доломитовой мукой, и величины гидролитической кислотности к концу ротации севооборота.
3. Дозы фосфорных и калийных удобрений, рассчитанные на запланированный урожай, в 10-польном севообороте не обеспечивают сохранение созданного уровня фосфатного и калийного режимов почвы. Содержание подвижного фосфора постоянно снижается по всем вариантам опыта, независимо от применяемых удобрений в севообороте на 12-33 %, обменного калия на 5,3-21,6 %.
4. Результаты однофакторного дисперсионного анализа подтверждают существенные различия между контролем и применяемыми системами удобрений и минерального сырья по влиянию на изменение содержания гумуса, калия и кислотности почвы. Динамика фосфора не зависела от применяемых удобрений и минеральных образований, поскольку его поведение в большей мере определяется условиями увлажнения и биологическими особенностями культур.
5. При высоком содержании для дерново-подзолистой почвы гумуса (более 4%), фосфора (более 400 мг/кг), калия (более 170 мг/кг) в 10-польном зерно-травяном севообороте с двумя полями многолетних и одним полем однолетних трав к концу

ротации сложился положительный баланс этих показателей при применении всех изучаемых систем удобрений.

6. Наибольшее влияние на баланс гумуса за ротацию севооборота оказало совместное применение органических и минеральных удобрений и возделывание в севооборота многолетних трав и бобово-злаковой смеси на силос. Наибольший эффект по балансу фосфора и калия наблюдали в вариантах с полуторными дозами NPK по фосфору (+168,4 кг/га) и калию (+288,0 кг/га), двойными дозами  $\text{NP}_2\text{K}_2$  по фосфору (+215,0 кг/га  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и по калию (+387,5 кг/га) при совместном внесении органических и минеральных удобрений.

7. К концу ротации севооборота во всех вариантах опыта наблюдается закономерное снижение абсолютного количества радиоцезия в почве, что связано с естественным распадом радионуклидов, биологическим выносом культур и особенностями воздействия на почвенные процессы изучаемых агрохимических приёмов. Величина снижения варьировала от 219,4 кБк/м<sup>2</sup> или 22,5% в варианте с одинарной дозой NPK до 434,0 кБк/м<sup>2</sup> или 38,4% в варианте с двойной дозой NPK.

8. Изучаемые агрохимические приемы в севообороте повысили урожайность всех сельскохозяйственных культур, но в их влиянии прослеживается определённая закономерность. Действие и последствие органо-минеральных систем более всего проявилось на картофеле, ячмене и овсе. Урожайность зеленой массы многолетних трав, как первого, так и второго года пользования, и вико-овсяной смеси больше зависело от применения двойной дозы фосфорно-калийных удобрений. Для озимой ржи наиболее эффективным приемом было совместное применение цеолита в дозе 5 т/га с минеральными удобрениями.

9. Применяемые агрохимические приёмы в 10-польном севообороте в большинстве своем положительно влияют на биохимический состав растениеводческой продукции. Увеличилось содержание белка в зерне ячменя, овса и озимой ржи, в кормовых культурах - содержание азота, калия и фосфора, несколько ухудшилась крахмалистость клубней картофеля и снизилось содержание сухого вещества и витамина С.

10. Эффективность снижения перехода <sup>137</sup>Cs в продукцию растениеводства в целом по 10-польному севообороту составила от одинарной дозы фосфорно-калийных удобрений 17,5, полуторной - 24,9, двойной - 27,1, одинарной и тройной дозы цеолита на фоне NPK - 2,2, от совместного применения торфа и NPK - 21,5, навоза и NPK - 24, от совместного внесения доломитовой муки и минеральных удобрений • 19,6 раза.

11. Наибольшая оплата продуктивности севооборота была в вариантах при совместном применении торфа и навоза с минеральными удобрениями, и составила 117 и 119 % соответственно. Самыми эффективными агроприемами в наших опытах являются применение цеолита в дозе 5,10,15 т/га на фоне NPK, условно чистый доход составил 1,4, 1,35 и 1,22 рубля на 1 рубль затрат соответственно, а также торфа и навоза на фоне NPK, условно чистый доход составил 1,22 и 1,19 рубля соответственно.

12. Наибольшая рентабельность получена при применении одинарной дозы цеолита на фоне минеральных удобрений 140 %.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для сельскохозяйственного производства независимо от форм собственности в условиях радиоактивного загрязнения сохранение и воспроизводство почвенного плодородия является ведущим приемом по преодолению последствий радиоактивного загрязнения в поставарийный период.

2. Реабилитационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур должны быть ландшафтно-адаптированными и дифференцированными.

3. В зоне радиоактивного загрязнения получение экологически безопасной продукции растениеводства возможно только при создании в почве агрохимических антирадиационных барьеров.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТА

1. Маркина З.Н., Ковалёв Л.А. Влияние нетрадиционного минерального сырья на агрохимические свойства антропогенно-изменённых почв //Вопросы лесоведения и лесоводства. Сб. науч. тр. Вып. 12. - Брянск: БГИТА, 2002.- С. 49-51.
2. Маркина З.Н., Ковалёв Л.А. Влияние нетрадиционного минерального сырья на поступление <sup>137</sup>Cs в сельскохозяйственную продукцию из антропогенно-изменённых почв антропогенно-изменённых //Вопросы лесоведения и лесоводства. Сб. науч. тр. Вып. 12. - Брянск: БГИТА, 2002.- С. 52-53
3. Маркина З.Н., Воробьёв Г.Т., Новиков А.А., Ковалёв Л.А. Технология реабилитации почв, загрязнённых радионуклидами //Агрохимический вестник. - 2003. - № 1. С. 21-24.
4. Ковалёв Л.А., Маркина З.Н. Влияние агрохимических приёмов на продуктивность сельскохозяйственных культур в севообороте на радиоактивно загрязнённых территориях (в печати).
5. Маркина З.Н., Ковалёв Л.А. Динамика агрохимических свойств почвы в севообороте под влиянием агрохимических приемов в условиях радиоактивного загрязнения (в печати).