

На правах рукописи



КУНИЦИН ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА
УРОЖАЙНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО КУЛЬТУР
ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВООБОРОТА В ЛЕСОСТЕПИ ЦЧР**

Специальность: 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Рамонь – 2018

Работа выполнена в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова» в 2014-2017 гг.

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук
Минакова Ольга Александровна
ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова»

Официальные оппоненты: **Дубовик Дмитрий Вячеславович**,
доктор сельскохозяйственных наук,
директор ФГБНУ «Курский федеральный
аграрный научный центр»
Горбунова Надежда Сергеевна,
кандидат биологических наук,
старший преподаватель кафедры почвоведения
и управления земельными ресурсами
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет»

Ведущая организация: ФГБНУ «Белгородский федеральный
аграрный научный центр»

Защита диссертации состоится «» 2019 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д. 006.065.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» по адресу: Воронежская область, Рамонский район, ВНИИСС, д.86; тел/факс (47340)5-33-26; E-mail: dissovetsvniiss@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» и на сайте <http://vniiss.com/index.htm>. Автореферат разослан «15» _____ 2019 г., размещен на сайте <http://vniiss.com/index.htm> «» _____ 2019 г., на сайте ВАК Минобрнауки РФ vak3.ed.gov.ru «» _____ 2019 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Минакова
Ольга Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Результаты исследований длительных опытов с удобрениями определяют приоритетные направления в системе агрохимического мониторинга и являются основой для оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур, разработки методов агроэкологической оценки систем земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур (Сычев В.Г., Аристархов А.Н., 2004).

Для обеспечения высоких устойчивых урожаев сахарной свеклы необходимо применять в основное внесение 1,0-1,5 т стандартной нитроаммофоски и 0,3-0,6 т/га азотных удобрений в течение вегетации (Солошенко Р.В. и др., 2013), а для воспроизводства почвенного плодородия и дополнительного поступления элементов питания необходимо вносить не менее 23-36 т/га навоза полуразложившегося КРС под предшественник (Полевщиков С.И., 2002). Применение такого большого количества химических веществ сказывается на содержании токсичных и радиоактивных элементов в почве и продукции (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992; Белоус Н.М. и др., 2006). В составе навоза также велико содержание токсичных элементов (Черных Н.А., Ладонин В.Ф., 1995). Под воздействием высоких доз удобрений в почве происходят следующие процессы: подкисление или подщелачивание, изменение её физических свойств, способности обмениваться поглощающими ионами, минерализировать или синтезировать гумус, изменение мобилизации питательных элементов, антогонизм или синергизм биогенных или токсичных элементов, что закономерно способно изменять урожайность сельскохозяйственных культур и их экологическое и технологическое качество (Минеев В.Г., 1984; Крамарева Т.Н., 2003; Лукин С.В., 2010; Мязин Н.Г., Кожокина А.Н., 2016; Науметов Р.В., 2016). В то же время при низкой удобренности в почве отмечается недостаток многих микроэлементов, что способствует усиленному поступлению токсикантов в растения при отсутствии конкуренции с макроэлементами (Гладышева О.В. и др., 2016).

Исходя из вышеизложенного, агроэкологическая оценка состояния почвы и получаемой продукции в условиях длительного применения разного количества минеральных удобрений и навоза в севообороте с сахарной свёклой является актуальным вопросом для изучения.

Цель исследований – установить влияние длительного применения удобрений на агроэкологическое состояние почвы и получаемой продукции в севообороте с сахарной свеклой в зоне неустойчивого увлажнения лесостепи ЦЧР.

Задачи исследования:

1. Установить влияние внесения удобрений на содержание подвижных форм токсичных и радиоактивных элементов, микроэлементов и серы в почве опытного участка.

2. Определить параметры физико-химического и гумусного состояния чернозема выщелоченного и их связь с содержанием изучаемых элементов в почве при применении удобрений.

3. Установить влияние удобрений на величину урожайности культур севооборота.

4. Выявить изменение содержания микроэлементов, токсичных, радиоактивных элементов и серы в продукции зерносвекловичного севооборота при систематическом применении удобрений.

5. Рассчитать интенсивность баланса изученных элементов в севообороте.

Объекты научных исследований: чернозем выщелоченный, продукция сельскохозяйственных культур в севообороте с сахарной свеклой (ботва, корнеплоды, зерно, солома, травы).

Предмет исследований: экологическое состояние агроэкосистемы почва-растения, баланс микроэлементов и серы, радиоактивных и токсичных элементов при длительном применении удобрений, предельно-допустимые концентрации (ПДК).

Научная новизна. Впервые в условиях ЦЧР установлено, что внесение удобрений в севообороте с сахарной свеклой способствует снижению содержания в слое 0-20 см фтора, ртути, Sr-90 и Ra-226 (на 5,4-10,8, 4,94-13,7, 6,44-12,9 и 15,2-26,2 % соответственно), но увеличению – хрома, алюминия и мышьяка (на 8,45-25,3, 10,7-56,3 и 3,57-6,75 % соответственно), без превышения их уровня ПДК. Получены новые знания о динамике коэффициента использования из почвы изученных элементов при внесении удобрений. Впервые выявлено отрицательное влияние кислотных свойств почвы на концентрацию Sr-90 и молибдена, положительное – мышьяка; повышение гумусности увеличивало содержание мышьяка и серы. Прямое действие $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{190}P_{190}K_{190}$ обеспечивало увеличение урожайности сахарной свеклы на 41,7-71,0 %, последствие – ячменя на 21,9-54,8 %, овса – 29,4-54,8 %, озимой пшеницы – 13,5-43,2 %, трав – 10,2-33,3 %, что углубляет теоретические представления о стимулирующем действии удобрений на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Получены новые данные о содержании необходимых микроэлементов и серы в культурах севооборота, выращенных при прямом действии и последствии удобрений. Снижение концентрации токсичных и радиоактивных элементов в продукции под влиянием удобрений более всего проявлялось в звене с черным паром; отмечено снижение содержания Cs-137 на 4,63-18,4 % и ртути на 8,33-40,0 %, что углубляет научные представления о способности удобрений снижать загрязненность продукции токсикантами. Впервые доказано, что при применении удобрений вынос большинства изученных элементов с продукцией севооборота увеличивался. Расширены и углублены научные представления о балансе As, Hg, Sr-90, Cs-137, В, Мо и S в севообороте на разных фонах удобренности.

Практическая значимость. В ходе исследований выявлены

оптимальные дозы минеральных удобрений и навоза, способствующие получению экологически чистой продукции в севообороте, накоплению необходимых микроэлементов и серы в почве и снижению содержания токсичных и радиоактивных элементов в агроэкосистеме. Применение под основную обработку в дозах $N_{45-90}P_{45-90}K_{45-90}$ под сахарную свеклу на фоне 25 т/га навоза в пару, а также $N_{45}P_{45}K_{45}$ на фоне 50 т/га навоза в пару снижало содержание в почве Sr-90 на 6,44-10,4 %, Ra-226 – на 17,7-21,9 %, а в продукции культур севооборота Cs-137 и ртути (на 4,63-18,4 и 8,33-40,0 % соответственно). Применение под сахарную свеклу $N_{135}P_{135}K_{135}$ на фоне 25 т/га навоза в пару повышало содержание молибдена и серы в слое почвы 20-40 см и урожайность сахарной свеклы на 65,2%, зерновых – 41,3-46,8 %, трав – 20,0-33,3 %. Рекомендуемые дозы не способствуют повышению содержания токсичных элементов в почве и продукции выше уровня ПДК.

Положения, выносимые на защиту.

1. Длительное применение удобрений не способствует загрязнению почвы севооборота токсичными и радиоактивными элементами.
2. На удобренных вариантах слой почвы 20-40 см обогащается подвижным бором и серой.
3. Применение удобрений способствует снижению содержания радиоактивных элементов и ртути в основной продукции севооборота, не изменяя их содержание в побочной.
4. Длительное применение минеральных удобрений совместно с 25 т/га навоза в пару способствует созданию в севообороте отрицательного баланса мышьяка, Cs-137, Sr-90, положительного – серы и молибдена, а на фоне 50 т/га навоза – бора.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность работы подтверждается большим объемом экспериментальных исследований, проведенных в стационарном многолетнем полевом опыте, использованием широко апробированных ГОСТированных и современных методов исследования, обработкой полученных данных с использованием методов математической статистики (корреляционного, дисперсионного анализа и др.) и применением статистического пакета программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были представлены на Международных научных и научно-практических конференциях: «Современные технологии в сельскохозяйственной науке (посвящается 130-летию А.П. Шехурдина)» [Саратов, 2016]; «Современные проблемы агрохимии в условиях поиска устойчивого функционирования агропромышленного комплекса при техногенных ситуациях» [Москва, 2016]; «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» [Курск, 2016]; «Аграрная наука – сельскому хозяйству» [Барнаул, 2017]; «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» [Краснодар, 2017]; «Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия» [Курск, 2017]; «Черноземы центральной России:

генезис, эволюция и проблемы рационального использования» [Воронеж, 2017]; Всероссийских научно-практических конференциях: «75 лет Географической сети опытов с удобрениями» [Москва, 2016]; «Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России» [Каменная степь, 2017].

Личный вклад автора. Все этапы работы были проведены лично или при непосредственном участии автора: полевые исследования, лабораторные анализы почв, аналитические работы, анализ и интерпретация полученных результатов, их статистическая обработка, подготовка публикаций, написание текста, формулирование выводов и предложения производству.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, практических рекомендаций, а также списка цитируемой литературы. Работа изложена на 1777 страницах, содержит 59 таблиц, 17 приложений. Список цитируемой литературы содержит 240 источников, из которых 18 — на иностранном языке.

1. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор научной литературы

В главе рассмотрена физиологическая роль изучаемых элементов в жизни растений. На основании данных научной литературы показано влияние применения удобрений на содержание микроэлементов, токсичных и радиоактивных элементов в почве, продукции севооборотов, приведены примеры изменения их баланса и коэффициентов использования из почвы и биологического поглощения в условиях изменения уровня удобренности.

2. Объекты, условия и методика проведения исследований

Работа выполнена в 2014-2016 гг. в стационарном опыте «Система удобрений сахарной свеклы и других культур севооборота» (год закладки — 1936). Для достижения поставленных задач изучались почва и урожай семи вариантов опыта (табл. 1).

Таблица 1. Схема стационарного опыта

№ варианта	Внесение минеральных удобрений кг д.в. на 1 га			Навоз в пар, т/га	Уровень насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями, кг			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Навоз
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	45	45	45	25	10	10	10	2,8
3	90	90	90	25	20	20	20	2,8
4	135	135	135	25	30	30	30	2,8
5	120	120	120	50	27	27	27	5,6
6	45	45	45	50	10	10	10	5,6
7	190	190	190	0	42	42	42	0

Минеральные удобрения вносили непосредственно под сахарную свеклу перед основной обработкой, другие культуры севооборота использовали последствие удобрений. Наиболее часто применяли нитроаммофоску (N:P:K = 16:16:16). Навоз вносили в паровое поле, один раз за ротацию севооборота.

Опытные поля ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова расположены на Доно-Воронежском водоразделе Окско-Донской равнины. Почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном тяжелом суглинке.

Чередование сельскохозяйственных культур в зернопаропропашном севообороте было следующим: черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень, клевер 1 года, озимая пшеница, сахарная свекла, однолетние травы, овес. Глубина основной обработки (вспашки) под сахарную свеклу – 30-32 см, а под остальные культуры севооборотов – на 20-22 см.

Содержание гумуса в верхнем слое почвы опыта 4,83-5,27 %, в его составе гуминовые кислоты преобладали над фульвокислотами, тип гумуса - гуматный. В верхней части гумусового горизонта $pH_{КСк}$ слабокислая (4,74-5,09, емкость поглощения высокая (33,0-45,0 мг-экв./100 г почвы), поглощающий комплекс практически полностью насыщен основаниями ($V=95,6$ %). В слое 0-20 см отмечалась повышенная и высокая обеспеченность подвижным P_2O_5 (10,6-18,8 мг/100 г почвы), высокая – K_2O (15,3-19,7 мг/100 г почвы), а также низкое и среднее содержание $N-NO_3^-$ (1,42-2,82 мг/100 г почвы).

Площадь посевной делянки сахарной свеклы – 136,1 м², зерновых и трав – 202,5 м², учетная – 10,8 и 40,8 м² соответственно. Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов систематическое. Выращивались районированные сорта и гибриды сахарной свеклы и других культур отечественной селекции.

Погодные условия в период проведения исследований различались по годам. Среднегодовая температура воздуха за вегетационный период (апрель-сентябрь) была относительно среднемноголетних значений: в 2014 – теплее нормы на 0,3°C, а в 2015 и 2016 гг. – ниже нормы на 0,4°C и 0,7°C соответственно. Осадков выпало за первый год исследования меньше средних многолетних значений (325,5 мм) на 119,5 мм, за второй – на 18,4 мм больше нормы, за третий – на 75,6 мм больше. По показателю увлажненности территории 2014 г. был засушливым (ГТК=0,78), 2015 и 2016 год – влажными (ГТК=1,33 и 1,80 соответственно). Следовательно, за годы исследований (2014-2016 гг.) был отмечен 1 засушливый и 2 влажных года.

Лабораторные исследования проводились в лаборатории агрохимии и агротехники возделывания культур в севообороте ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» и в ФГБУ ГЦАС «Воронежский».

В воздушно-сухой почве определялось содержание гумуса по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменного кальция (ГОСТ 26487-85); обменного магния (ГОСТ 26428-85); подвижной серы (ГОСТ 26490-85);

бора (ГОСТ Р 50688-94); молибдена (ГОСТ Р 50689-94); фтора (методические указания (МУ) по определению содержания подвижного фтора в почвах ионометрическим методом, М., ЦИНАО, 1993); мышьяка (МУ по определению мышьяка, М., ЦИНАО, 1993); хрома (ГОСТ Р 50683-94); pH водной вытяжки (ГОСТ 26423-85); pH солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85); емкость поглощения по методу Бобко-Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО; Cs-137 (ГОСТ Р 54038-2010), Sr-90 (ГОСТ Р 54041-2010); хрома (МУ по определению тяжелых металлов в почве сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства, М., 1992).

В растительных образцах определяли: содержание сухого вещества в листьях и корнеплодах, соломе и в травах методом высушивания при $t=105^{\circ}\text{C}$; содержание сахарозы – методом холодной дигестии на поточной линии «ВЕНЕМА», мышьяка (ГОСТ 28930-86), Cs-137 (ГОСТ Р 54040-2010), Sr-90 (ГОСТ Р 54017-2010); ртути – ГОСТ 26927-86; серы (МУ по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения, М., ВНИИА, 2004); молибдена и бора (МУ по колориметрическому определению микроэлементов в кормах и в растениях, М., ЦИНАО, 1977); хрома (МУ по определению тяжелых металлов в почве сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства, М., ЦИНАО, 1992).

На посевах культур учитывали: урожайность ботвы и корнеплодов сахарной свеклы методом учетных площадок; урожайность зерновых культур – методом бункерного учета; урожайность одно- и многолетних трав – методом пробных площадок; сбор сахара – расчетным методом.

Математическая обработка данных результатов опыта проведена методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов по Б.А. Доспехову (1985), а также с использованием программы Microsoft Excel 2010 для ПК.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ, РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И СЕРЫ В ПОЧВЕ

3.1 Содержание токсичных элементов

В составе минеральных удобрений содержится некоторое количество токсичных элементов вследствие их нахождения в составе исходного сырья и особенностей процесса производства, не позволяющего их удалять (Алексеев Ю.В., 1987; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989; Белоус Н.М. и др., 2006). Также большое количество микроэлементов и тяжелых металлов содержит навоз крупного рогатого скота (Милащенко Н.З., 1990; Ладонин В.Ф., 1995). Наиболее вредное влияние на экологическое состояние почвы оказывают подвижные соединения тяжелых металлов и радиоактивных элементов вследствие их концентрирования на поверхности твердой фазы почвы, где они вступают в многочисленные реакции (Bloomfield С., 1981; Минеев В.Г., 1984; А.Ф. Мирончик и др., 2016).

В наших исследованиях было отмечено снижение содержания

подвижного фтора в почве в слое 0-20 см на 5,40-10,8 % (табл. 2) относительно контроля, более всего в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, менее – $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза. Удобрения снижали содержание подвижной ртути в слое 0-20 см на 4,94-13,7 % в вариантах $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, но некоторое увеличение (на 6,46 %) было отмечено в варианте $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза.

Удобрения повышали содержание подвижного мышьяка на 8,45-25,3 % в слое 0-20 см, более всего в вариантах $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, но не выше уровня предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Таблица 2. Содержание ТМ в почве стационарного опыта, 2014-2016 гг.

Вариант	Глубина, см	F	As	Hg	Cr	Al, моль/100 г почвы
		мг/кг почвы				
Контроль	0-20	0,37	0,35	0,0263	25,2	0,0028
	20-40	0,33	0,40	0,0257	26,4	0,0028
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0-20	0,33	0,33	0,0260	26,7	0,0031
	20-40	0,30	0,40	0,0295	26,2	0,0028
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	0,35	0,40	0,0250	25,9	0,0033
	20-40	0,29	0,43	0,0293	26,4	0,0033
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0-20	0,34	0,44	0,0280	26,1	0,0043
	20-40	0,34	0,43	0,0277	26,5	0,0027
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	0-20	0,36	0,38	0,0240	23,7	0,0028
	20-40	0,35	0,36	0,0230	26,6	0,0028
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0-20	0,34	0,40	0,0250	26,5	0,0028
	20-40	0,32	0,40	0,0260	26,1	0,0028
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0-20	0,35	0,39	0,0227	26,9	0,0033
	20-40	0,36	0,36	0,0260	27,2	0,0030
НСР ₀₅	0-20	0,02	0,025	0,0012	0,82	0,00025
	20-40	-	-	-	-	-
ПДК	0-20	2,8	2,0	2,1	100,0	-
	20-40					

Содержание обменного алюминия повышалось в почве на 10,7-53,6 % в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и $N_{190}P_{190}K_{190}$, более всего в варианте $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза. В слое 20-40 см отмечалась тенденция к повышению содержания элемента. Концентрация хрома в слое 0-20 см под влиянием удобрений достоверно увеличилось на 3,57-6,75 %, более всего в вариантах $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза. На глубине 20-40 см не было отмечено достоверных различий по содержанию хрома, фтора, алюминия, ртути и мышьяка.

3.2. Микроэлементы и сера в почве стационарного опыта

Обеспеченность почвы макро- и микроэлементами составляет основу плодородия (Гладышева О.В. и др., 2016). Из микроэлементов наибольшее значение для сахарной свеклы имеет обеспеченность бором и марганцем (Шпаар Д., Сушков М., 1996), а нормальное микроэлементное питание позволяет растениям противостоять засухе (Сычев В.Г. и др., 2004).

Почва опытного участка относится к градации очень хорошо обеспеченных подвижным бором (В.Г. Минеев, 1990) (свыше 1,2 мг/кг почвы), применение удобрений в опыте не переводило обеспеченность в другую градацию. В слое 0-20 см содержание бора не изменялось, но отмечалось достоверное улучшение борного состояния почвы в слое 20-40 см (повышение на 9,23-11,5 % относительно контроля), более всего в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Таблица 3. Содержание микроэлементов и серы в почве стационарного опыта, 2014-2016 гг.

Вариант	Глубина, см	B	Mo	S
		мг/кг почвы		г/кг почвы
Без удобрений	0-20	1,80	0,161	2,80
	20-40	1,30	0,140	1,30
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0-20	1,30	0,160	2,00
	20-40	1,45	0,125	1,30
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	1,30	0,160	2,00
	20-40	1,45	0,125	1,30
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0-20	1,23	0,170	2,55
	20-40	1,31	0,140	3,15
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	0-20	1,33	0,150	2,20
	20-40	1,42	0,125	1,42
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0-20	1,29	0,210	2,70
	20-40	1,26	0,140	1,75
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0-20	1,21	0,155	2,57
	20-40	1,42	0,137	1,40
НСР ₀₅	0-20	-	-	0,17
	20-40	0,09	-	0,11

Почва удобренных вариантов относится к градации слабообеспеченных подвижным молибденом (В.Г. Минеева, 1990) (менее 0,23 мг/кг почвы), применение удобрений не способствовало переводу градации обеспеченности в более высокую. В слое 0-20 см отмечалась тенденция к повышению содержания элемента (на 5,59-30,4 %) при внесении $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, снижение – $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза (на 10,6 %). В слое 20-40 см отмечалась тенденция к снижению концентрации молибдена на 7,86-10,7 % в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га

навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, в других вариантах оно было на уровне контроля.

Применение удобрений обеспечивало перераспределение подвижной серы: в слое 0-20 см было отмечено снижение на 8,21-28,6 %, более всего в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза. В слое 20-40 см было отмечено её достоверное повышение, на 7,69-142 %, более всего в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза. Это объясняется дополнительным поступлением растительных остатков в удобренных вариантах.

3.3. Влияние удобрений на содержание радиоактивных элементов в почве опытного участка

Sr-90 является биологически аналогом стабильного кальция, легко поглощаясь живыми организмами (Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., 2015). Cs-137 – основной дозообразующий радионуклид (Степанов И.Н. и др., 1991). При попадании в организм эти элементы способны создавать дополнительные источники облучения (Белоус Н. М. и др., 2006).

Удобрения практически не влияли на содержание Cs-137 в почве. Достоверных изменений содержания элемента в поверхностном слое почвы выявлено не было, только тенденция к увеличению его концентрации на 6,44 % (табл. 4) в варианте $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и к снижению на 6,44 % в варианте $N_{190}P_{190}K_{190}$. Уровень загрязнения почвы опыта Cs -137 в $1,34-1,78 \cdot 10^7$ раз ниже, чем пороговое значение для зоны с неблагоприятной экологической ситуацией, то есть загрязнение вследствие применения удобрений, также как и фоновое (на контроле) отсутствует.

Таблица 4. Содержание радиоактивных элементов в почве стационарного опыта, Бк/кг, слой 0-20 см

Вариант	Cs-137	Sr-90	Th-232	Ra-226	K-40
Контроль	29,5	8,23	31,5	23,7	464
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	30,6	8,37	35,2	19,5	456
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	29,5	7,37	34,9	18,5	479
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	30,6	7,57	34,2	17,5	493
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	29,9	7,70	35,2	18,7	470
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	31,4	7,17	34,9	23,4	487
$N_{190}P_{190}K_{190}$	27,6	8,27	32,3	20,1	494
НСР ₀₅	-	0,50	0,53	0,60	6,2
ПДК	$3,7 \cdot 10^8$	$1,11 \cdot 10^8$	-	-	-

Было отмечено снижение на 6,44-12,8 % содержания Sr-90 относительно контроля при внесении $N_{90-135}P_{90-135}K_{90-135}$ на фоне 25 т/га навоза и $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза. Его концентрация в почве опытного участка

была в $1,33-1,55 \cdot 10^7$ раза меньше, чем пороговое значение, позволяющее отнести почву к зоне с неблагоприятной экологической обстановкой.

При внесении $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза на 15,2-26,2 % снижалось содержание Ra-226 в почве. Содержание Th-232 наиболее значительно (на 8,57-11,7 %) повышалось в почве вариантов $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза относительно контроля. Содержание радиоизотопа калия-40 имело только тенденцию к увеличению на 4,95-6,46 % в вариантах $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза.

3.4. Коэффициенты использования элементов из почвы

Для оценки динамики накопления элементов в почве и продукции агроценоза используется такой показатель, как коэффициент использования элементов из почвы (КИП). Он равен отношению хозяйственного выноса элемента (с основной и побочной продукцией) к запасу элемента в почве, выраженному в % (Нормативные показатели выноса ..., 1988).

По величине КИП был установлен ряд интенсивности использования элементов растениями сахарной свеклы: $B > Mo > S > Sr-90 > Hg > Cr > Cs-137 > As$. Более всего культурой используются необходимые микроэлементы бор и молибден и макроэлемент сера, менее всего – цезий-137 и мышьяк (табл. 5). Из токсичных элементов более всего усваивается ртуть, из радиоактивных – стронций-90, что свидетельствует об их наибольшей опасности для живых организмов вследствие наиболее легкого встраивания в системы растений.

Таблица 5. Коэффициент использования элементов из почвы сахарной свеклой под влиянием применения удобрений

Вариант	Hg	As	Cr	Cs-137	Sr-90	B	Mo	S
Без удобрений	0,064	0,023	0,050	0,042	0,149	0,392	0,286	0,186
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0,084	0,027	0,104	0,047	0,172	0,479	0,370	0,244
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0,094	0,029	0,092	0,060	0,241	0,514	0,479	0,443
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0,097	0,028	0,090	0,060	0,292	0,601	0,409	0,311
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	0,104	0,035	0,100	0,059	0,229	0,621	0,529	0,368
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0,095	0,028	0,087	0,054	0,237	0,594	0,336	0,266
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0,131	0,030	0,073	0,062	0,208	0,613	0,504	0,293

В вариантах с удобрениями в наибольшей степени возросли относительно контроля КИП молибдена, серы, ртути и стронция-90 (на 17,5-85,0, 31,2-138, 31,2-105 и 15,4-96,0 % соответственно). Увеличение КИП мышьяка, хрома, цезия-137 и бора при применении $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$ было

отмечено примерно на одинаковом уровне (17,4-52,2, 46,0-50,8, 11,9-47,6 и 22,2-58,4 % соответственно).

3.5. Физико-химические свойства почвы, гумусность и их взаимосвязь с содержанием токсичных элементов

Распределение микроэлементов в почве контролируется рядом факторов: их геохимическими свойствами, кислотностью, содержанием гумуса, глинистых частиц, карбонатов (Протасова Н.А., 1981; Скорбач В.В., 1996).

В почве удобренных вариантов отмечалось повышение содержания гумуса относительно контроля на 0,19-0,44 абс.% (2,67-9,12 %) (табл. 6) в слое 0-20 см, наиболее значительно влияло $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$ и на 0,15-0,65 абс. % (2,60-13,0 %) в слое 20-40 см, наибольшее влияние оказали $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза. Содержание обменного Ca^{2+} достоверно не изменялось как в слое 0-20, так и 20-40 см. В слое 0-20 см было отмечено повышение на 7,00-13,4 % содержания обменного Mg^{2+} , в наибольшей степени в вариантах $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, а в слое 20-40 см изменений не отмечалось. Только тенденция к снижению величины pH_{KCl} 0,12-0,29 единиц была выявлена при внесении $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза в слое 0-20 см и повышению на 0,14-0,34 единиц – $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, а $N_{190}P_{190}K_{190}$ – к снижению на 0,20 единиц в слое 20-40 см.

Таблица 6. Физико-химические свойства почвы и содержание гумуса в стационарном опыте, 2014-2016 гг.

Вариант	Гумус, %	Ca^{2+} , мг/100 г	Mg^{2+} , мг/100 г	ЕКО, ммоль/100г	pH_{KCl}
Контроль	4,85	20,7	3,57	45,0	5,04
	5,00	19,9	3,60	42,0	4,97
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	4,70	20,4	3,83	37,0	5,04
	4,87	21,0	3,97	39,0	4,94
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	5,02	21,2	3,57	33,0	4,94
	5,17	21,4	3,40	40,0	4,95
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	5,20	21,3	3,83	38,0	4,91
	5,65	20,6	3,87	42,0	4,97
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	5,27	21,0	3,88	40,0	5,09
	5,36	21,6	3,60	36,0	5,11
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	5,22	21,2	4,05	41,0	4,92
	5,17	20,6	3,75	37,0	5,31
$N_{190}P_{190}K_{190}$	5,27	20,7	3,82	35,0	4,74
	5,15	20,0	3,75	28,0	4,77
НСР ₀₅	0,14	-	0,27	3,0	-
	0,11	-	-	2,0	-

Емкость катионного обмена снижалась во всех удобренных вариантах опыта (относительно контроля), на 4,0-12,0 ммоль/100г (8,89-26,7 %) в слое 0-20 см, более всего при $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и на 2,0-14,0 ммоль/100г (4,76-33,3 %) в слое 20-40 см при $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза. Это свидетельствовало об ухудшении сопротивления почвы антропогенной нагрузке вследствие уменьшения суммы способных к обмену катионов. Наиболее высокие показатели ЕКО, близкие к контролю были в слое 0-20 см в вариантах $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, в слое 20-40 см – $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза.

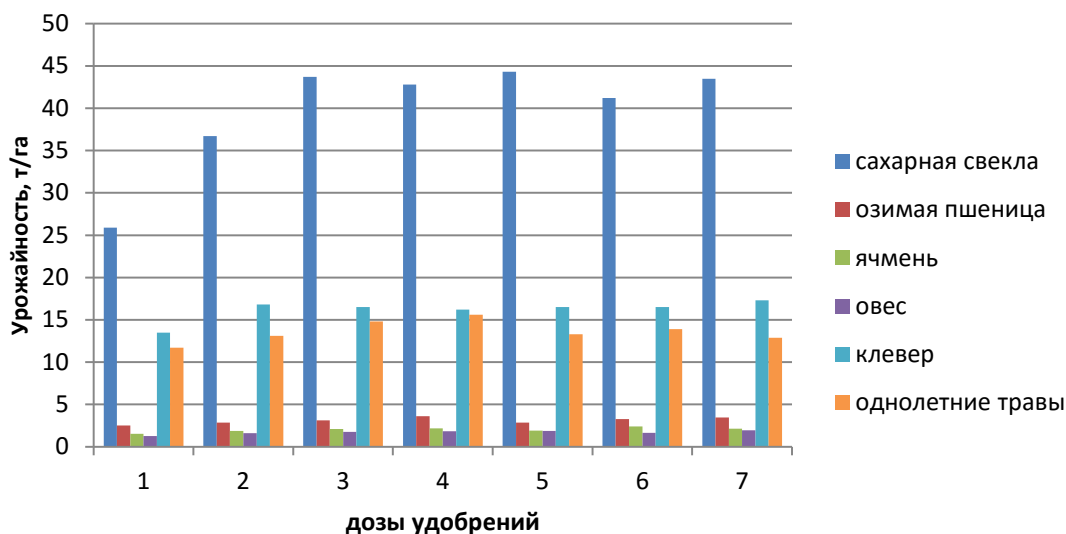
Отмечалась сильная положительная корреляционная зависимость между концентрацией As в слое 0-20 см, а также S в слое 20-40 см и содержанием гумуса ($r=0,754-0,702$). Содержание Mo в слое 0-20 см было положительно связано с концентрацией обменного Mg^{2+} ($r=0,503$), а также суммой $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ($r=0,696$); для слоя 20-40 см отмечалась отрицательная корреляция Mo с суммой $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ($r=-0,775$) и Ca^{2+} ($r=-0,863$). Теснота прямолинейной корреляционной зависимости между содержанием серы и обменного Mg^{2+} в слое 0-20 см составила 0,579, а S и ЕКО в слое 20-40 см – 0,686.

Отмечалась сильная положительная корреляционная зависимость между содержанием мышьяка в слое 0-20 см и Ca^{2+} , а также суммы $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ($r=0,886$ и $0,840$ соответственно), в слое 20-40 см – и ЕКО ($r=0,782$). Отрицательная корреляционная зависимость сильной степени была отмечена для Sr-90 и Ca^{2+} , Sr-90 и суммы $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ($r=-0,922$ и $r=-0,915$ соответственно), положительная средней степени – Cs-137 с $pH_{\text{сол}}$ ($r=0,528$).

Глава 4. Урожайность культур зерносвекловичного севооборота

Урожайность культур – основной показатель, характеризующий уровень плодородия почвы, условия произрастания, а также эффективность применения тех или иных приемов агротехники (Уваров Г.И. и др., 2007). Внесение удобрений способно повышать урожайность в 1,6-1,7 раз и более (Сычев В.Г., 2006; Волынкин В.И. и др., 2014).

Уровень урожайности корнеплодов сахарной свёклы в звене с черным паром составил 25,9-44,3 т/га (рис.), прибавки в удобренных вариантах – 10,8-18,4 т/га (+41,7-71,0 % к контролю). Созданию максимальных урожаев способствовало применение $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$. Последствие минеральных удобрений и прямое действие навоза увеличивало урожайность зерна озимой пшеницы на 0,34-0,95 т/га (+13,5-43,2 % к контролю), более всего при $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$. При последствии удобрений значительно возросла урожайность зерна ячменя, на 21,9-54,8 %, максимально при $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$. Урожайность овса также значительно увеличивалась (на 29,4-54,8 %), особенно в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$.



1 - Контроль, 2 - $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, 3- $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, 4 - $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, 5 - $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, 6 - $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, 7 - $N_{190}P_{190}K_{190}$

НСР₀₅ 3,52 (сахарная свекла в паровом звене), 0,21 (озимая пшеница в паровом звене), 0,20 (ячмень), 0,11 (овес), 1,10 (клевер), 1,0 (однолетние травы)

Рисунок. Урожайность культур севооборота, 2014-2016 гг.

Было отмечено повышение урожайности зеленой массы клевера на 20,0-28,5 %, более всего при последствии $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза. Урожайность однолетних трав повышалась на 10,2-33,3 %, более всего в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза.

Глава 5. Влияние удобрений на содержание микроэлементов в продукции севооборота

5.1. Токсичные микроэлементы

Токсичные элементы принципиально изменяют поступление в растения микроэлементов, органически связанных с повышением устойчивости организма к ионизирующему облучению (Белоус Н.М., 2006; Мирончик А.Ф., 2016). Органические и минеральные удобрения способствовали снижению поступления ^{137}Cs (Шаповалов В.Ф. и др., 2016).

В корнеплодах сахарной свеклы, выращенных при внесении удобрений проявлялось снижение на 4,63-7,36 % содержания Cs-137 (табл. 8), в наибольшей степени при $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, но повышение на 9,52-38,1 % хрома, более всего в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25-50$ т/га навоза. Концентрация Sr-90, мышьяка и ртути в корнеплодах проявляли тенденцию к снижению накопления. В ботве не было выявлено достоверного изменения содержания элементов.

Таблица 8. Содержание элементов в сахарной свекле и озимой пшенице

Вариант	Сахарная свекла					Озимая пшеница			
	Hg	As	Cr	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	Hg	As	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
	мг/кг			Бк/кг		мг/кг		Бк/кг	
Контроль	0,0046	0,030	0,42	2,93	3,67	0,005	0,021	3,1	2,8
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га навоза	0,0060	0,030	0,61	2,93	3,50	0,007	0,021	3,3	3,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + 25 т/га навоза	0,0046	0,030	0,58	2,87	3,50	0,003	0,021	3,1	3,0
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ + 25 т/га навоза	0,0050	0,030	0,58	2,83	3,43	0,004	0,020	3,0	3,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га навоза	0,0046	0,030	0,58	2,97	3,40	0,004	0,022	3,5	3,5
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 50 т/га навоза	0,0046	0,030	0,65	2,93	3,57	0,005	0,022	2,9	2,9
N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀	0,0070	0,030	0,54	2,80	3,40	0,004	0,020	3,4	3,4
НСР ₀₅	-	-	0,035	-	0,21	0,0005	-	-	0,22
ПДК	0,01	1,0	-	40,0	80,0	0,03	0,2	11, 0	60,0

В зерне озимой пшеницы последствие удобрений и прямое действие навоза проявилось в увеличении концентрации Cs-137 и Sr-90 (на 7,1-25,0 и 6,45-12,9 % соответственно) и снижении на 20,0-40,0 % ртути, более всего в вариантах N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀, N₄₅P₄₅K₄₅+25 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза. В зерне овса было отмечено только снижение содержания хрома на 13,0-23,9 % относительно контроля, более всего в вариантах N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза, N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза. Влияние удобрений на химический состав ячменя, в основном, проявилось в тенденции к снижению содержания ртути, мышьяка, Cs-137, но повышению – хрома.

В зеленой массе клевера при последствии N₄₅P₄₅K₄₅+25-50 т/га навоза, N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅+25 т/га навоза, N₉₀P₉₀K₉₀+25 т/га навоза было отмечено снижение содержания ртути на 8,33-16,7 % и Cs-137 на 4,1-18,4 % (табл. 9). В однолетних травах установлено повышение содержания Hg на 17,6-23,5 %, более всего при внесении N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀+50 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза, N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀, а Cs-137 — снижение до 6,8-10,4 % при N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅+25 т/га навоза, N₉₀P₉₀K₉₀+25 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза.

Таблица 9. Содержание токсичных и радиоактивных элементов в травах, мг/кг сухого вещества

Вариант	Однолетние травы					Клевер			
	Hg	As	Cr	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	Hg	As	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
	мг/кг			мг/кг		мг/кг		Бк/кг	
Без удобрений	0,017	0,03	0,050	5,40	4,43	0,012	0,029	8,8	4,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ +25 т/га навоза	0,021	0,029	0,044	5,40	4,07	0,010	0,028	8,6	4,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ +25 т/га навоза	0,020	0,029	0,042	5,30	4,13	0,010	0,028	8,9	4,3
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ +25 т/га навоза	0,020	0,029	0,046	5,26	3,97	0,011	0,028	8,9	4,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ +50 т/га навоза	0,020	0,029	0,044	5,43	4,13	0,010	0,029	8,8	4,5
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ +50 т/га навоза	0,020	0,029	0,046	5,23	4,40	0,011	0,029	8,7	4,1
N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀	0,021	0,029	0,050	5,33	4,30	0,011	0,028	8,9	4,4
НСР ₀₅	0,002	-	-	-	0,102	0,0008	-	-	0,30
ПДК	0,1	2,0	-	100	180	0,1	2,0	100	180

Установлено, что под влиянием применения удобрений, в основном, концентрация токсичных элементов в продукции снижалась, в звене с черным паром в большей степени, чем в звене с клевером.

5.2. Содержание микроэлементов и серы в культурах севооборота

Группа необходимых микроэлементов наиболее важна для растений, так как эти элементы либо входят в состав ферментов, либо контролируют их работу (Агрохимия, 1975).

В ботве сахарной свеклы, выращенной на удобренных вариантах, было отмечено снижение содержания молибдена в вариантах на 9,6-17,8 % (табл. 10) относительно контроля и повышение на 6,6-9,4 % бора. Содержание серы в ботве снизилось на 10,3-23,1 %, более всего при N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + 50 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза и N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза.

В корнеплодах сахарной свеклы проявлялось увеличение содержания молибдена и бора относительно контроля на 6,54-20,9 и 4,12-14,7 % соответственно, более всего в вариантах N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза, N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + 50 т/га навоза. Содержание серы возрастало на 8,3-25,0 %, более всего в вариантах N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅+ 25 т/га навоза, N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀.

Таблица 10. Содержание микроэлементов и серы в сахарной свекле и озимой пшенице, звено с паром, 2014-2016 гг.

Вариант	Сахарная свекла			Озимая пшеница		
	B	Mo	S	B	Mo	S
	мг/кг		г/кг	мг/кг		г/кг
Без удобрений	<u>2,13</u>	<u>0,100</u>	<u>1,95</u>	<u>1,6</u>	<u>0,19</u>	<u>1,7</u>
	1,70	0,165	1,20	3,4	0,18	0,8
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га навоза	<u>2,30</u>	<u>0,085</u>	<u>1,60</u>	<u>1,8</u>	<u>0,19</u>	<u>1,6</u>
	1,85	0,173	1,40	4,0	0,17	1,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + 25 т/га навоза	<u>2,10</u>	<u>0,095</u>	<u>1,75</u>	<u>1,7</u>	<u>0,18</u>	<u>1,5</u>
	1,57	0,185	1,45	3,5	0,19	0,6
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ + 25 т/га навоза	<u>2,27</u>	<u>0,095</u>	<u>2,15</u>	<u>1,9</u>	<u>0,20</u>	<u>1,8</u>
	1,67	0,180	1,20	3,7	0,16	0,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га навоза	<u>2,07</u>	<u>0,070</u>	<u>1,50</u>	<u>1,6</u>	<u>0,15</u>	<u>1,6</u>
	1,77	0,190	1,40	3,8	0,21	0,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 50 т/га навоза	<u>2,20</u>	<u>0,100</u>	<u>1,70</u>	<u>1,7</u>	<u>0,17</u>	<u>1,8</u>
	1,90	0,175	1,50	3,5	0,16	1,1
N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀	<u>2,33</u>	<u>0,085</u>	<u>1,90</u>	<u>1,9</u>	<u>0,18</u>	<u>1,7</u>
	1,95	0,220	1,30	3,7	0,19	0,9
НСР ₀₅	<u>0,15</u>	<u>0,003</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	-	-
	0,11	0,010	0,09	0,26	-	-

В зерне и в соломе озимой пшеницы последствие удобрений и прямое действие навоза проявилось в увеличении содержания бора (на 6,2-18,7 и 8,8-11,8 % соответственно), более всего в вариантах N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀, N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза.

В зерне овса и ячменя было отмечено повышение содержания молибдена на 5,26-21,1 и 5,6-11,8 % соответственно, что, возможно, объясняется приоритетным значением молибдена в процессах формирования генеративных органов и снижение содержания серы в соломе – до 31,2 % , более всего в вариантах N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза, N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀. Содержание серы в клевере снижалось на 9,1-22,7 %.

5.3 Коэффициент биологического поглощения элементов

Коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение содержания химических элементов в зоне организмов (растений, животных) к его содержанию в среде обитания, используемый для выявления участия каждого элемента в биотическом круговороте (<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/4358/КОЭФФИЦИЕНТ>).

При возделывании сахарной свеклы с применением удобрений не отмечалось изменения КБП бора и ртути относительно контроля, но

повышалось – молибдена (на 7,95-18,7 %) и снижалось – мышьяка (на 4,29-15,3 %), в наибольшей степени в вариантах с $N_{90}P_{90}K_{90}+25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120}+50$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135}+25$ т/га навоза.

Глава 6. Поступление и баланс токсичных и радиоактивных микроэлементов в севообороте

Баланс элементов питания – это математическое выражение круговорота элементов питания в земледелии, отражает степень интенсификации сельскохозяйственного производства (<http://helpiks.org/6-35679.html>).

Для оценки приходных статей был произведен анализ нитроаммофоски производства ОАО «Минудобрения». Более всего в её составе содержалось К-40, Sr-90 и Th-323, несколько меньше – Ra-226, очень незначительно содержание опаснейших токсикантов ртути и мышьяка.

Разница по поступлению Hg между слабоудобренными и насыщенными вариантами составила 365 и 21,2 раза соответственно, Sr-90 – в 2,33, Cs-137 – в 8,92 раза, микроэлементов – 70 раз, серы – 2,15 раза. С минеральными удобрениями поступало в 111-149 раз меньше бора, 15,2-20,3 раз – молибдена и 5,0-6,7 – серы, чем с навозом.

Ряд по поступлению элементов с удобрениями: $Hg < As < Cr < Mo < B < S$.

С урожаем культур в удобренных вариантах более всего увеличивался вынос хрома (на 40,8-84,7 % относительно контроля), несколько меньше – As, Sr-90 и Cs-137 (на 18,3-37,5, 19,1-35,3 и 18,5-38,1 % соответственно), более всего в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}+25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135}+25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120}+50$ т/га навоза.

Ряд по выносу элементов культурами севооборота имел следующий вид: $Hg < As < Cr < Mo < B < S$.

Повышение выноса бора на 19,3-28,0 %, молибдена на 12,6-31,2 %, а серы – 4,10-38,5 % происходило с увеличением дозы минеральных удобрений на фоне 25 т/га навоза.

Таблица 11. Баланс элементов в севообороте

Вариант	Hg	As	Sr-90	Cs-137	B	Mo	S
	г/га		кБк/га		г/га		кг/га
$N_{45}P_{45}K_{45}+25$ т/га навоза	+0,058	-0,605	-91	-136	-56,8	+2,51	+97,1
$N_{90}P_{90}K_{90}+25$ т/га навоза	+0,058	-0,604	-86	-154	-64,2	+2,19	+98,9
$N_{135}P_{135}K_{135}+25$ т/га навоза	-0,007	-0,804	-65	-159	-68,4	+3,18	+100,5
$N_{45}P_{45}K_{45}+50$ т/га навоза	+0,516	-0,090	+3	-69	+68,8	+11,4	+140,9
$N_{120}P_{120}K_{120}+50$ т/га навоза	+0,472	-0,090	+13	-93	+59,3	+12,8	+167,1
$N_{190}P_{190}K_{190}$	-0,411	-1,31	-109	-215	-185,8	-7,24	+36,1

Баланс мышьяка, Sr-90, Cs-137 и бора при внесении возрастающих доз

минеральных удобрений на фоне 25 т/га навоза был отрицательным (-0,604-0,804 г/га, -65-91 кБк/га, -136-159 кБк/га, -56,8-68,4 г/га соответственно) (табл. 11), молибдена и серы – положительным (+2,19-3,18 г/га и 97,1-100,5 кг/га), а применение удобрений на фоне 50 т/га навоза обеспечивало положительный баланс всех изученных элементов, кроме мышьяка и Cs-137 (-0,090 г/га и -69-93 кБк/га).

Вследствие низкого поступления токсикантов и микроэлементов в варианте $N_{190}P_{190}K_{190}$ создавался отрицательный баланс всех элементов, кроме серы. С увеличением доз минеральных удобрений, как на фоне 25, так и 50 т/га навоза повышалась отрицательность баланса ртути, мышьяка, Cs-137 и положительность молибдена, серы и Sr-90. Отрицательный или равновесный баланс токсичных элементов и максимальный положительный баланс микроэлементов и серы складывался при $N_{45}P_{45}K_{45}+50$ т/га навоза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительное применение минеральных удобрений и навоза в 9-польном зерносвекловичном севообороте способствовало снижению содержания в слое 0-20 см чернозема выщелоченного токсичных и радиоактивных элементов (фтора, ртути, радия и Sr-90), но повышению – хрома, алюминия и мышьяка. Улучшение радиационного состояния почвы, выражающееся в снижении содержания Ra-226 и Sr-90, отмечалось при внесении $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза. Было отмечено обогащение серой и бора слоя 20-40 см, без изменения содержания молибдена. Удобрения снижали накопление токсичных элементов в продукции, особенно Cs-137 и ртути, но повышали – микроэлементов (бора и молибдена). Больше влияние они оказали на содержание элементов в основной продукции (корнеплоды, зерно), чем в побочной. Загрязнения почвы и продукции выше уровня ПДК не происходило. Дозы $N_{45-90}P_{45-90}K_{45-90}$ под сахарную свеклу на фоне 25 т/га навоза в пару, а также $N_{45}P_{45}K_{45}$ на фоне 50 т/га навоза в пару способствовали улучшению агроэкологического состояния почвы и продукции севооборота.

ВЫВОДЫ

1. Установлено значительное положительное влияние длительного применения удобрений на агроэкологическое состояние почвы и продукции сельскохозяйственных культур в зернопаропропашном севообороте зоны неустойчивого увлажнения лесостепи ЦЧР.

2. Определено, что длительно применяемые удобрения способствовали снижению в слое 0-20 см почвы на 5,4-10,8 % содержания фтора, 4,94-13,7 % – ртути, но увеличению – хрома, алюминия и мышьяка (на 3,57-6,75, 10,7-56,3 и 8,45-25,3% соответственно), без превышения уровня ПДК. Наибольшие изменения в содержании изученных элементов были отмечены при внесении $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза.

3. Выявлено, что под влиянием удобрений происходит перераспределение содержания серы в слое 0-40 см почвы: обеднение в слое 0-20 см на 8,21-28,6 % и обогащение в слое 20-40 см на 7,69-14,2 % относительно контроля; содержание подвижного бора повышалось на 9,23-13,1 % только в слое 20-40 см. Наибольшие изменения отмечались при внесении $N_{45}P_{45}K_{45}+25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45}+50$ т/га навоза. В слое почвы 0-40 см удобрения не влияли на содержание подвижного молибдена.

4. Выявлено снижение содержания в почве Ra-226 и Sr-90 (на 15,2-26,2 % и 6,44-12,9 % соответственно). Наибольшее влияние на улучшение радиационного состояния почвы оказывало применение $N_{90}P_{90}K_{90}+25$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135}+25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45}+50$ т/га навоза.

5. Раскрыто, что внесение удобрений более всего способствовало повышению коэффициентов использования из почвы молибдена, серы, ртути и Sr-90 (до 138 %), вследствие повышения хозяйственного выноса с сельскохозяйственной продукцией, менее всего – Cs-137 (до 50,8 %).

6. Показано, что в слое 0-20 см почвы удобренных вариантов отмечалось снижение емкости катионного обмена (на 8,89-26,7 %), но наблюдалось повышение содержания гумуса (на 2,67-9,12 %) и обменного магния (на 7,0-13,4 %).

7. Доказано, что содержание Cs-137, Sr-90, As, Mo, S в слое 0-20 см проявляло сильную корреляционную зависимость с физико-химическими свойствами почвы, Mo и S – с гумусом как в слое 0-20, так и 20-40 см.

8. Раскрыто положительное действие удобрений на увеличение урожайности сахарной свеклы на 41,7-71,0 % от контроля; последствие более всего проявилось на урожайности ячменя и овса (+21,9-54,8 и 29,4-54,8 % соответственно), несколько меньше – озимой пшеницы (13,5-43,2 %), менее всего – трав (10,2-33,3 %). Повышению урожайности более всего способствовало применение $N_{135}P_{135}K_{135}+25$ т/га навоза и $N_{190}P_{190}K_{190}$ (на 20,0-65,2 и 10,2-59,1 % соответственно).

9. Выявлено влияние удобрений на содержание токсичных и радиоактивных элементов в продукции севооборота, заключающееся в снижении содержания Cs-137 в корнеплодах, однолетних травах, клевере (на 4,63-7,36, 6,8-10,4 и 4,1-18,4 % соответственно), ртути – в озимой пшенице и клевере (20-40 % и 8,33-16,7 % соответственно), хрома в овсе (на 13,0-23,9 %), но повышении – ртути в однолетних травах (на 17,6-23,5 %), Cs-137 и Sr-90 в озимой пшенице (на 7,10-25,0 и 6,45-12,9 % соответственно), хрома в сахарной свекле (9,52-38,1 %).

10. Установлено, что удобрения снижали накопление токсичных элементов в продукции, в звене с черным паром на 20,6-49,3 % больше, чем в звене с клевером.

11. Отмечено, что на содержание токсичных и радиоактивных элементов в побочной продукции удобрения не влияли (кроме соломы озимой пшеницы в звене с клевером, где повышалось содержание мышьяка и Cs-137 на 4,76-14,3 % и 4,94-11,1 % соответственно).

12. Доказано, что в корнеплодах сахарной свеклы, выращенных при внесении удобрений, увеличивалось содержание бора и молибдена (на 4,12-14,7 % и 4,85-33,3 соответственно), в зерне озимой пшеницы – бора (на 6,2-18,7 %), в зерне овса и ячменя – молибдена (на 5,60-11,8 % и 5,26-21,1 соответственно), но в клевере снижалось – серы (на 9,1-22,7 %).

13. Раскрыто увеличение коэффициента биологического поглощения молибдена сахарной свеклой, что свидетельствовало о его концентрировании культурой как микроэлемента, выполняющего значительную физиологическую роль в растении, и снижение – мышьяка.

14. Показано, что применение удобрений повышало вынос с культурами севооборота Cr на 40,8-84,7 %, As – 18,3-37,5 %, Sr-90 – 19,1-35,3, Cs-137 – 18,5-37,5, В – 19,3-28,0 %, Мо – 12,6-31,2 %, S – 4,10-38,5 %.

15. Установлено формирование в почве севооборота отрицательного баланса мышьяка, Cs-137, Sr-90 при применении минеральных удобрений с 25 т/га навоза в пару (-0,604-0,804 г/га, -65-91 кБк/га, -136-159 кБк/га соответственно) и положительного серы и молибдена (+2,19-3,18 г/га и 97,1-100,5 кг/га); доза N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза способствует созданию положительного баланса микроэлементов и серы.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для получения продукции зерносвекловичного севооборота наилучшего экологического качества с содержанием токсичных и радиоактивных элементов ниже уровня ПДК и снижения их содержания в почве рекомендуется длительное применение умеренных доз минеральных удобрений N₄₅₋₉₀P₄₅₋₉₀K₄₅₋₉₀ под сахарную свеклу (с осени под основную обработку) на фоне 25 т/га навоза в пару, а также N₄₅P₄₅K₄₅ на фоне 50 т/га навоза в пару.

2. Для получения высоких урожаев в зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР (до 44,2 т/га корнеплодов сахарной свеклы отечественной селекции, 3,6 т/га зерна и 17,3 т/га зеленой массы трав) и улучшения обеспеченности растений микроэлементами и серой рекомендуется применение N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ под сахарную свёклу + 25 т/га навоза в пару.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Минакова О.А., Александрова Л.В., Куницын Д.А. Изменение почвенного плодородия и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи Центрального Черноземного региона // Агрохимия. 2018. № 1. С. 52-60.

2. Минакова О.А., Александрова Л.В., Куницын Д.А. Содержание токсичных и радиоактивных элементов в почве и продукции стационарного опыта с удобрениями в Центральном Черноземном Регионе // Агрохимия. №3. 2018. с. 77-82.

3. Минакова О.А, **Куницын Д.А.**, Александрова Л.В. Содержание токсичных и радиоактивных элементов в культурах зерносвекловичного севооборота под влиянием длительного применения удобрений в ЦЧР // Сахарная свекла. 2017. №7. С. 14-17.

4. Минакова О.А, **Куницын Д.А.**, Александрова Л.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧР // Вестник Курганской ГСХА. 2017. №3 (23). С. 34-37.

Другие публикации

5. Минакова О.А., **Куницын Д.А.**, Тамбовцева Л.В. Влияние длительного применения удобрений на содержание микроэлементов в почве и продукции зерносвекловичного севооборота / Современные технологии в сельскохозяйственной науке (посвящается 130-летию А.П. Шехурдина): сб. докл. Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Саратов, 2016. С. 307-310.

6. **Куницын Д.А.**, Тамбовцева Л.В. Влияние длительного применения удобрений на содержание биофильных элементов в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой / Современные проблемы агрохимии в условиях поиска устойчивого функционирования агропромышленного комплекса при техногенных ситуациях: сб. докл. 50-й Междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов Москва, 2016. С. 125-128.

7. Минакова О.А, Александрова Л.В, **Куницын Д.А.** Динамика микроэлементного состава чернозема в зерносвекловичном севообороте под влиянием применения удобрений / Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: сб. докл. научно-практ. конф. с междунар. участием. Курск, 2016. С. 202-205.

8. Минакова О.А, Александрова Л.В., **Куницын Д.А.** Динамика агрохимических исследований в восьмой и девятой ротациях зерносвекловичного севооборота при длительном применении удобрений / 75 лет Географической сети опытов с удобрениями: матер. Всеросс. совещ. научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. М., 2016. С. 177-181.

9. Минакова О.А, Александрова Л.В, Вилков В.М., **Куницын Д.А.** Изменение агроэкологического состояния чернозема выщелоченного под влиянием длительно применяемых удобрений в зерносвекловичном севообороте // Сахарная свекла. 2017. № 1. С.29-33.

10. Минакова О.А, Александрова Л.В, **Куницын Д.А.** Изменение микроэлементного состава чернозема выщелоченного под влиянием применения удобрений в зерносвекловичном севообороте / Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей XII Междунар. практ. конф. Барнаул, 2017. С. 192-194.

11. Минакова О.А, Александрова Л.В, **Куницын Д.А.** Влияние применения навоза в севообороте на микроэлементный состав почвы и

продуктивность сахарной свеклы в условиях ЦЧР / Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. науч. трудов по материалам V междунар. науч. эколог. конф. Краснодар, 2017. С. 190-192.

12. Минакова О.А, Александрова Л.В., Куницын Д.А. Агроэкологическое состояние чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений / Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: сб. докл. междунар. научно-практ. конф. Курск, 2017. С. 275-278.

13. Минакова О.А, Куницын Д.А., Александрова Л.В, Вилков В.М. Влияние длительного применения удобрений на агроэкологическое состояние чернозема выщелоченного в зерносвекловичном севообороте / Агроэкологический вестник: междунар. сб. науч. трудов. Выпуск 8. Ч. II. Воронеж, 2017. С. 28-34.

14. Минакова О.А, Александрова Л.В, Куницын Д.А. Параметры прогнозирования чернозема выщелоченного в 9 ротации зернопропашного севооборота при внесении удобрений / Черноземы центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования: сб. матер. науч. конф., посвящ. 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами. Воронеж, 2017. С. 120-124.

15. Минакова О.А, Куницын Д.А., Александрова Л.В., Вилков В.М. Изменение содержания токсичных и радиоактивных элементов в сахарной свекле под влиянием длительного внесения удобрений в ЦЧР / Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России: сб. докл. Всеросс. научно-практ. конф., посвящ. 125-летию организации «Особой экспедиции лесного департамента». Каменная степь, 2017. С. 101-104.