

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Самарский государственный аграрный университет»

УДК 635.25:632.122

*На правах рукописи*

**СОЛОВЬЕВ АНАТОЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НОРМ ВНЕСЕНИЯ ФОСФОГИПСА НА  
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВЫ И  
ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУКА РЕПЧАТОГО**

**4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Троц Н. М.

Самара – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 3   |
| <b>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....   | 9   |
| 1.1. Мелиоративный эффект фосфогипса в повышении плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур.....              | 9   |
| 1.2. Тяжелые металлы в почве: физиологическая роль, нормирование, приемы детоксикации.....                                     | 32  |
| 1.3. Устойчивость овощных культур к действию тяжелых металлов.....   | 41  |
| 1.4. Лук репчатый: онтогенез, продуктивность, реакция на агротехнические приемы.....   | 47  |
| 1.5. Влияние агротехнических приемов на содержание тяжелых металлов в почвах, на урожайность и качество овощной продукции..... | 54  |
| <b>2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....   | 59  |
| 2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного участка.....   | 59  |
| 2.2. Метеорологические условия в годы исследований.....  | 62  |
| 2.3. Схема полевого опыта и ее обоснование.....  | 67  |
| 2.4. Фенологические наблюдения вегетационного периода лука репчатого.....  | 76  |
| 2.5. Методики исследований.....  | 82  |
| <b>3. АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛУКА РЕПЧАТОГО ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....                        | 86  |
| 3.1. Ретроспективный агрохимический анализ состояния почвы по полям севооборотов.....  | 86  |
| 3.2. Обменная и гидролитическая кислотность почвы опытного участка.....  | 92  |
| 3.3. Агрохимические показатели почв производственных плантаций лука репчатого.....   | 95  |
| 3.4. Структурно-агрегатный состав черноземной почвы под луком репчатым.....  | 119 |
| <b>4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ФОСФОГИПСА НА АККУМУЛЯЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВОЙ И ЛУКОВИЦАМИ ЛУКА РЕПЧАТОГО</b> .....           | 121 |
| 4.1. Влияние фосфогипса на накопления тяжелых металлов почвой под растениями лука репчатого сорта Визион.....                  | 121 |
| 4.2. Влияние фосфогипса на накопления тяжелых металлов почвой под растениями лука репчатого сорта Манас.....                   | 143 |
| 4.3. Накопление тяжелых металлов луковичами репчатого лука.....  | 169 |
| <b>5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛУКА РЕПЧАТОГО</b> .....   | 179 |
| 5.1. Урожайность репчатого лука при использовании фосфогипса.....  | 179 |
| 5.2. Экономическая оценка применения фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями.....                                    | 183 |
| <b>ВЫВОДЫ</b> .....  | 190 |
| <b>ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ</b> .....  | 193 |
| <b>ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ</b> .....  | 193 |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....  | 194 |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....  | 216 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В сложившихся сложных экономических условиях, одной из глобальных проблем в агропромышленном комплексе является проблема обеспечения продовольственной безопасности, на решение которой могут влиять такие факторы, как рациональное, агроэкономически эффективное и экологически безопасное использование природных ресурсов, в том числе фосфатного сырья. Применение побочных продуктов промышленного производства частично решает проблему обеспечения растений элементами минерального питания и регулирования физико-химических свойств почв, снижаются затраты на производство продукции. В этой связи исследование возможности применения побочного продукта производства экстракционной фосфорной кислоты – фосфогипса нейтрализованного (ФГ) в сельскохозяйственном производстве, содержащего 70-80 % гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 2-3 % подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 15 % оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и 20-22 % кальция (Ca), макро-, мезо-, микро- и ультрамикрорезультаты, способствуют повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур [3, 4, 5, 6, 7].

Современный этап развития отечественной аграрной сферы требует агроэкологической оценки эффективности фосфогипса в конкретных почвенно-климатических зонах. Так, в южной агроэкологической зоне Самарской области в условиях орошения для восстановления баланса кальция, обогащения фосфором, снижения последствий ветровой эрозии почв может быть использован фосфогипс Балаковского филиала АО «Апатит» Его запасы в отвалах предприятия огромны и превышают 40 млн. тонн.

Но, научные исследования по использованию фосфогипса в качестве мелиоранта на вторично засоленных почвах при орошении дождеванием, его влиянию на почвенное плодородие, засоление, осолонцевание, содержание нитратов, микроэлементов и минералогический состав почв в условиях Самарской области не проводились. В результате нет конкретных рекомендаций по его применению под различные сельскохозяйственные культуры, в том числе под ценную овощную витаминизированную культуру – репчатый лук, потребление которой на

душу населения в нашей стране составляет более 12 кг в год. Уровень продуктивности лука в основных лукосеющих странах достигает 46,4-51,7 т/га, а в России средняя урожайность лука составляет 22,6 т/га [32, 36, 127]. Поэтому актуальной и практически значимой задачей является повышение урожайности репчатого лука, прежде всего, на высокоценных, орошаемых черноземных почвах, с целевым уровнем продуктивности не менее 100 т/га и соблюдением принципов ресурсосбережения и экологической безопасности производства.

**Цель работы** – совершенствование агротехнических приемов выращивания лука репчатого в системе применения фосфогипса при орошении на черноземной почве, обеспечивающих высокую продуктивность растений, сохранение почвенного плодородия и экологическую безопасность продукции.

В соответствии с этим в **задачи исследований** входило:

1. Обобщить результаты мониторинга черноземных почв по основным агрохимическим параметрам, характеризующим закономерности динамики изменения плодородия почв.
2. Установить степень влияния различных норм фосфогипса на агрохимические показатели плодородия почвы и динамику основных макроэлементов.
3. Провести сравнительный анализ валового содержания и подвижных форм кадмия Cd, свинца Pb, цинка Zn, никеля Ni, меди Cu, марганца Mn, железа Fe в пахотном горизонте почв под посевами репчатого лука при внесении различных норм фосфогипса.
4. Изучить эффективность использования различных норм фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями на аккумуляцию тяжелых металлов луковницами репчатого лука сортов Манас и Визион.
6. Рассчитать биогеохимические показатели содержания тяжелых металлов в почвах и растениях.
7. Провести экономическую оценку целесообразности внесения фосфогипса в норме 2,0 т/га, 4,0 т/га, 6,0 т/га, 8,0 т/га, 10 т/га на черноземе под посевами репчатого лука, на фоне 100 кг/га Аммофоса и 200 кг/га Диаммофоски.

8. Обобщить данные полевого опыта, сделать соответствующие выводы и предложения.

**Степень разработанности темы.** Изучением вопросов химической мелиорации почв в почвенно-климатических условиях Поволжья, его последствий, отзывчивости сельскохозяйственных культур на данный агроприем, а также определения экономической целесообразности его проведения занимались многие ученые (Аканова Н. И., 2008; Гришин Г. Е., 2002; Ивойлов А. В., 2002; Моисеев А. А., Прокина Л. Н., Каргин В. И., 2005; Шильников И. А., Гришин Г. Е., Аканова Н. И., 2011; Чекаев Н. П., Лесков А. В., 2020; Лукманов А. А., 2022 и др.). Тщательный анализ научных результатов исследований доказывает необходимость дальнейших научных изысканий в области мелиорации черноземов в условиях орошения в зависимости от доз, способов внесения, возделываемых культур и т.д.

**Научная новизна.** Впервые в условиях Самарской области на орошаемой черноземной почве проведены комплексные исследования по оценке эффективности действия фосфогипса Балаковского филиала АО «Апатит» при возделывании лука репчатого.

В исследованиях установлено, что внесение фосфогипса Балаковского филиала АО «Апатит» с суммарным содержанием с долевой концентрацией 70-80 % гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 2-3 % подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 15 % оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и 20-22 % кальция (Ca) как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений  $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{150}$  обеспечивало нейтральную реакцию, повышенный уровень кальция, улучшение обеспечения серой, водно-воздушного режима, уменьшение плотности почвы, увеличение доступных питательных веществ.

Выявлено, что внесение фосфогипса в качестве мелиоранта в дозе 2-6 т/га содействовало достоверному повышению продуктивности лука репчатого сорта Манас на 27,7 – 32,6 т/га, сорта Визион на 23,8 – 26,9 т/га по сравнению с абсолютным контролем.

Установлена высокая эффективность фосфогипса в нейтрализации кислот-

ности почвенной среды: сдвиг обменной кислотности в зависимости от дозы мелиоранта составил 0,30 - 1,10 единиц рН при сочетании его с минеральными удобрениями. Выявлено существенное улучшение питательного режима чернозема обыкновенного остаточно-лугового малогумусного среднемощного среднесуглинистого, повышение урожайности лука репчатого, улучшение качества и получение экологически безопасной продукции. Проведена экономическая оценка эффективности фосфогипса при возделывании лука репчатого.

**Теоретическая и практическая значимость.** Внесен существенный вклад в понимание необходимости известкования черноземов, подвергшихся засолению. Результаты научных исследований доказывают возможность использования в производственных условиях Балаковского филиала АО «Апатит» с целью уменьшения засоленности пахотных почв, что способствует поддержанию почвенного плодородия, росту продуктивности возделываемых культур и формированию продукции с высокими показателями качества.

Установлено, что с экономической точки зрения на черноземных почвах Среднего Поволжья, имеющих повышенную реакцию почвенной среды, применение местных запасов известковых материалов эффективно на фоне минеральных удобрений.

**Методология и методы исследования.** Методология данных исследований основана на комплексном подходе к изучению эффективности фосфогипса Балаковского филиала АО «Апатит» в качестве материала для нейтрализации кислотности почв, включающем проведение полевых и лабораторных экспериментов. В работе использованы теоретические методы исследований (обработка результатов исследований методом статистического анализа) и эмпирические (полевые опыты, графическое и табличное представление полученных результатов).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

– положительное влияние сочетания фосфогипса с минеральными удобрениями на динамику агрохимических показателей и агрофизические свойства чер-

ноземов обыкновенных остаточно-луговатых и обыкновенных остаточно-луговатых карбонатных с вкраплениями мелких контуров лугово-черноземных почв под посевами лука репчатого;

– отзывчивость лука репчатого на действие сочетания фосфогипса с минеральными удобрениями на почву;

– экономическая и агроэкологическая эффективность технологий возделывания лука репчатого при применении фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Степень достоверности полученных результатов обосновывается применением современных методов исследований как в полевых опытах, так и при проведении лабораторных анализов почвенных и растительных образцов, необходимым количеством наблюдений и учетов, результатами статистической обработки экспериментальных данных, проведением корреляционно-регрессионного анализа.

Показатели экспериментальной работы апробированы и внедряются в ИП Глава КФХ Цирулев Е. П. Приволжского района ООО, Скорпион и ООО «Весна» Безенчукского района Самарской области. Результаты исследований используются при чтении лекций во время учебного процесса для студентов агрономического факультета ФГБОУ ВО Самарский ГАУ по дисциплинам: агрохимия, системы земледелия, питание и удобрение садовых культур.

Положения научных исследований докладывались и обсуждались на: XXI Международной научно-практической конференции «Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур» (Горки, 2023 г); I Национальной научно-практической конференции «Современные технологии защиты и выращивания сельскохозяйственных культур», посвященной 110-летию Вавиловского университета (Саратов, 2023); Международной научно-практической конференции «Инновационные достижения науки и техники АПК» (Кинель, 2022); Международной научно-практической конференции, посвящённой XXX-летию Татарского института переподготовки кадров агробизнеса «Цифровые техноло-

гии в подготовке кадров АПК как ключевой фактор повышения его эффективности. Актуальные проблемы противодействия коррупции в системе обеспечения экономической безопасности» (Казань, 2022); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Курган, 2022); 74-й Международной научно-практической конференции «Современные проблемы агропромышленного комплекса» (Самара, 2021).

**Личный вклад соискателя.** Автором разработана программа исследований, лично проведены закладка полевых и лабораторных экспериментов, соответствующие учеты и интерпретация экспериментальных данных, их экологическая и экономическая оценка, выявлены лучшие решения изучаемой проблемы и даны рекомендации сельскохозяйственному производству.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе, 4 из них, в рецензируемых научных изданиях. Подана заявка на выдачу патента на изобретение «Способ применения многокомпонентного удобрения для сельскохозяйственных культур» регистрационный номер 2024108201 от 28.03.2024 года.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 222 страницах компьютерного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка и приложений. В работе содержится 48 таблиц, 7 рисунков, 3 приложения. Библиографический список включает 191 источник, в том числе 37 – зарубежных авторов.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» на кафедре агрохимии, почвоведения и агроэкологии под научным руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора Троц Натальи Михайловны с участием сотрудников кафедры, аспирантов и студентов.

## **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **1.1. Мелиоративный эффект фосфогипса в повышении плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур**

В Федеральном законе «О мелиорации земель» дается следующее понятие: мелиорация земель – деятельность, направленная на улучшение свойств земель, в том числе на воспроизводство плодородия земель, путем проведения мелиоративных мероприятий и их научное и производственно-техническое обеспечение

Мелиорация земель осуществляется в целях повышения продуктивности и устойчивости земледелия, обеспечения гарантированного производства сельскохозяйственной продукции на основе воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения и земель, предназначенных для осуществления сельскохозяйственной деятельности, а также создания необходимых условий для вовлечения в сельскохозяйственное производство неиспользуемых и малопродуктивных земель и формирования рациональной структуры сельскохозяйственных угодий [133].

Мелиоративные мероприятия – проектирование, строительство, реконструкция, капитальный ремонт и эксплуатация мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, создание агролесомелиоративных насаждений и агрофитомелиоративных насаждений, проведение культуртехнических работ, работ по улучшению химических и физических свойств почв [146].

На основании ГОСТ 58330.2-2018 [44] мелиорация земель сельскохозяйственного назначения включает в себя следующие основные типы (табл. 1.1.1).

В рамках данной работы более подробно остановимся на водной и химической мелиорации земель. Химическая мелиорация почв обеспечивает регулирование реакции почвенной среды (кислотность или щёлочность), обогащение почв минеральными элементами; способствует оструктуриванию и химическому закреплению почв, их рассолонцеванию, раскислению; дезинфицированию и детоксикации.

Таблица 1.1.1 – Типы и виды мелиорации земель сельскохозяйственного назначения [44]

| Тип мелиорации земель сельскохозяйственного назначения   |  |   |  |  |   |  |
|--|--|---|--|--|---|--|
| Техническая (техномелиорация)  | Земельная (геомелиорация)  | Водная (гидромелиорация)  | Воздушная (аэромелиорация)   | Растительная (фитомелиорация)  | Химическая (химмелиорация)  | Зоологическая (зоомелиорация)  |
| -осуществляемый техническими средствами и технологиями мелиоративной агротехники и культуртехники. | -направленный на сохранение или улучшение потребительских свойств земли. | -осуществляемый посредством подачи или отвода воды, сохранения и перераспределения влаги. | -осуществляемый посредством газов или воздуха с целью регулирования воздухогазового режима почв. | - мелиорирующим средством которых являются растительные организмы (деревья, кустарники, травы, грибы). | -направленный на улучшение неблагоприятного состояния почв и грунтов путем внесения химических веществ. | - основанный на использовании в качестве мелиорирующего средства (мелиоранта) живых (микробиологических) организмов. |
| Виды мелиоративных мероприятий   |  |   |  |  |   |  |
| - мелиоративная агротехника;<br>- мелиоративная культуртехника                                     | - замена земель;<br>- землевание   | - регулирование наземного стока;<br>- орошение земель;<br>-обводнение земель              | - аэрация земель;<br>- воздухопное терморегулирование земель                                     | - фитозащита земель;<br>- фитодобревание почв  | - кислоторегулирование почв;<br>- солерегулирование почв  | - зоологическое удобрение земель;<br>- зоологическая очистка земель  |

Исходя из потребности различных видов почв сельскохозяйственных угодий в проведении вышеуказанных мелиорирующих воздействий, устанавливается их потребность в соответствующих видах (способах) химической мелиорации [8, 115, 126, 128, 147].

Особую значимость при возрастающей интенсификации современного агропроизводства имеет известкование, являющееся средством кардинального улучшения кислых почв.

Наибольшее значение известкование имеет для подзолистых, дерново-подзолистых, торфяно-болотных и серых лесных почв [4, 5, 7, 32, 73, 77, 149, 150].

Известкование требует дифференцированного подхода, так как в пределах практически каждого субъекта или хозяйства имеются площади, где почвы по своим природным свойствам (карбонатность почвообразующих пород, генетический тип и др.), степени окультуренности и структуре посевных площадей имеют различную потребность в известковании [22, 77].

Особенно актуальна задача оптимизации физико-химических свойств почв для Нечерноземья, где проживает порядка 40 % населения России и сосредоточено около половины промышленного потенциала страны. Агроклиматические условия данной зоны характеризуются, как правило, достаточным и избыточным увлажнением, но при этом идет объективный процесс обеднения почв основаниями, кальцием и магнием. Кроме того, в настоящее время наблюдается смещение на юг границы кислых почв в зону оподзоленных, выщелоченных и обыкновенных черноземов [4, 5, 6]. В таких условиях избыточная кислотность почвенной среды, особенно при высоком содержании активного алюминия, является одной из главных причин низкой продуктивности сельскохозяйственных культур и многих отрицательных экономических и экологических последствий. Так, например, на этих почвах в среднем на 30-40 % снижается эффективность минеральных и органических удобрений, в 3-8 раз увеличивается накопление в растениях тяжелых металлов и радионуклидов [16, 40, 69].

Оптимальная реакция почвенной среды и насыщенность ее поглощающего комплекса основаниями являются обязательными условиями эффективной системы земледелия для зоны с промывным режимом увлажнения, где постоянно происходит процесс обеднения почвы основаниями вследствие их миграции с инфильтрационными водами, а также выноса с урожаем сельскохозяйственных культур [15, 16, 18, 20, 21, 30, 44, 53, 72].

Для оценки эффективности мелиорантов используют следующие показатели: сдвиг рН почвы при внесении конкретной дозы известкового удобрения; доза, требуемая для достижения оптимальной величины рН; доза, обеспечивающая пролонгированный эффект нейтрализации почвенной кислотности; диапа-

зоны повышения урожайности и показателей качества продукции сельскохозяйственных культур от известкования; интервал доз мелиоранта для конкретных почвенно-климатических условий, обеспечивающий оптимальную рентабельность известкования [4, 5, 19, 69].

При внесении известковых удобрений особое значение имеют способ заделки, влажность и тип почвы. Известкование способно значительно повысить мобилизационную способность почв и обеспечить увеличение численности протеолитических, амилитических и diaзотрофных микроорганизмов, улучшающих состав почвенной микробиоты. Эффективность, инновации и ресурсосбережение при проведении известкования кислых почв обеспечиваются использованием местных известняковых материалов; рациональным применением очередности при известковании полей севооборота; совмещением известкования с внесением удобрений; использованием современного почвообрабатывающего оборудования; инвестициями в интенсивные системы земледелия, химизации и мелиорации [4, 5, 6, 7, 92].

В отличие от дерново-подзолистых и серых лесных почв, солонцовые и солонцеватые почвы имеют щелочную реакцию почвенного раствора, вредную для многих сельскохозяйственных растений и полезных микроорганизмов, повышенное содержание в обменном состоянии ионов натрия и неудовлетворительные физические свойства. Отрицательное действие щелочной реакции проявляется в снижении концентрации подвижных форм азота, фосфора, кальция, магния, меди, цинка, марганца и других микроэлементов. Поэтому ухудшение продуктивности растений на солонцовых почвах обусловлено как их физическими свойствами, так и нарушением минерального питания сельскохозяйственных культур [105].

Для мелиорации солонцов и солонцовых почв необходимо содержащийся в почве натрий (Na) вытеснить кальцием, водородом от сульфатов и нитратов в почвенный раствор с образованием солей.

Солонцы и солонцовые почвы при высыхании сильно уплотняются, при вспашке образуют глыбы, а во влажном состоянии имеют высокую вязкость,

липкость, сильно заплывают, медленно просыхают, часто образуют плотную почвенную корку. Обработка таких почв сильно затруднена, солонцовый горизонт препятствует проникновению вглубь корневой системы растений, всходы запаздывают, растения развиваются неравномерно и сильно изрежены, урожайность культур на таких почвах очень низкая или полностью отсутствует.

Низкое естественное плодородие солонцов и их локальное (пятнистое) расположение среди зональных почв приводит к значительному снижению продуктивности всех угодий солонцовых земель.

Гипсование является одним из агрохимических приемов повышения плодородия солонцов и солонцовых почв путем внесения в почву гипса или фосфогипса. Агрономическая эффективность гипсования установлена и широко апробирована в полевых опытах и производстве. После внесения гипса урожайность свеклы возрастала на 30-60 ц/га при увеличении сахаристости с 15 до 19 %, озимой пшеницы – на 5-10, ячменя – на 5-8, капусты – на 60-80 ц/га.

Повышение продуктивности солонцовых почв возможно на основе применения специальных технологий, обеспечивающих создание в почве благоприятных условий для роста и развития растений.

Рекомендуются следующие мелиоративные методы: агрохимический (внесение гипса) и агротехнологический (самоулучшающий).

Теоретической основой агрохимического способа повышения плодородия солонцов является донасыщение поглощающего комплекса почвы кальцием и вытеснение обменного натрия и магния. При внесении гипса в почву кальций, переходя в коллоидный комплекс солонцовых почв, обуславливает коагуляцию почвенных коллоидов и вытесняет натрий. Улучшаются агрофизические, химические и биологические свойства почвы, вытесненный натрий ( $\text{Na}^+$ ) образует с анионом сульфата ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) гидролитически нейтральную, хорошо растворимую соль. При выпадении осадков она передвигается в нижележащий почвенный горизонт. В верхнем горизонте снижается щелочность почвенного раствора, улучшаются водный и воздушный режимы, повышается доступность для растений азота, фосфора, калия, кальция и других.

Поглощенный ион натрия в ППК заменяется на ион кальция. Продукты реакции в небольших количествах безвредны, однако при гипсовании почв, содержащих более 20 % Na в ППК, образуется в избытке сульфат натрия и его следует вымывать за пределы корнеобитаемого слоя путем орошения и/или накопления талых вод после снегозадержания.

Гипсование устраняет неблагоприятные свойства солонцов и повышает уровень плодородия [118].

Для химической мелиорации почв широко используют самые разнообразные вещества – гипс, глауконит, цеолит, фосфогипс, железный купорос, пирит, пиритный огарок, электролит травления стали, продукты улавливания отходящих газов ТЭС и другие побочные продукты производства, а также руды и горные породы. Это вещества, как содержащие кальций, так и имеющие преимущественно сульфатную основу. Для карбонатных почв в качестве мелиоранта подходит вещество, содержащее сульфат, который, взаимодействуя с кальцием карбонатов почвы, обеспечивает затем замену в ППК натрия на кальций. Сульфат положительно воздействует на минеральную часть почвы и разрыхляет ее. Дозу мелиоранта определяют из расчета внесения в почву количества кальция, эквивалентного содержанию натрия в ППК в расчетном слое почвы [4, 5, 7].

По мнению многих специалистов наиболее перспективным материалом для проведения мелиоративных работ является фосфогипс – крупнотоннажный отход производства минеральных удобрений. В настоящее время в России в отвалах промышленных предприятий и химических заводов накоплено около 320 млн. т фосфогипса (Воскресенск, Балаково, Череповец, Мелеуз, Волхов, Уварово), в числе в районе ООО «Балаковские минеральные удобрения» около 43 млн. т. Ежегодно эти цифры увеличиваются на десятки миллионов тонн.

Использование фосфогипса в качестве мелиоранта решает не только проблему вовлечения химических элементов в естественный природный кругооборот, но и ряд экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды продуктами выветривания отвалов, а также с отведением сотни гектаров

пахотных земель под эти отвалы. При этом для его хранения и транспортирования в отвалы требуются большие материальные и трудовые затраты [8].

При дозе внесения фосфогипса 5 т/га в почву может поступать 100-130 кг  $P_2O_5$  в усвояемой форме, что в значительной степени возмещает затраты сельского хозяйства на его транспортировку и внесение. Ценнейшие макро- и микроэлементы в огромных количествах уходят в отвалы. При внесении 1 т/га фосфогипса в качестве многокомпонентного удобрения в почву поступает Ca – 265 кг, S – 215 кг и  $SiO_2$  – 9.8 кг. Положительным свойством данного мелиоранта является то, что он не слеживается при хранении [9].

Фосфогипс – это промышленный отход, образующийся при сернокислотной обработке природных апатитовых и фосфоритовых пород при производстве суперфосфатов и термофосфатов, а также фосфорной кислоты из фосфоритов методом экстракции. Он накапливается и при производстве преципитата и аммофоса. На каждую тонну преципитата или аммофоса получается примерно 2,7 т фосфогипса. По внешнему виду фосфогипс – белый очень тонкий порошок. Он содержит 70-80 % гипса ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), 2-3 %  $P_2O_5$ , до 15 % SiO и до 8 %  $R_2O_3$ . В нем находится около 20-22 % Ca. Также в нем содержатся примеси других растворимых редкоземельных элементов и тяжелых металлов. Их количество равно примерно следующим значениям: 1,4 % – Mg, 1,4 % –  $P_2O_5$ , 20,2 % – S, 0,17-0,20 % – F, 0,1 % – B, 1 % – Mn, 0,01 % – Cu, 0,05 % – Zn, 0,03 % – Co, 0,05 % – Mo [10].

Фосфогипс из фосфоритного сырья содержит значительно меньше стронция (400-600 мг/кг) по сравнению с кислым фосфогипсом из хибинского апатитового концентрата (1400 мг/кг). Из элементов, относящихся к первому классу опасности в фосфогипсах, полученных при переработке обоих типов сырья, может вызывать опасение кадмий, а в фосфогипсе из фосфоритного сырья – свинец [107, 122].

Фосфогипс, получаемый при разложении хибинского апатитового концентрата, содержит несколько больше фосфора, фтора и стронция по сравнению с фосфогипсом из ковдорского сырья.

Содержание радиоактивных элементов в Кольских апатитах невелико. Радиоактивность фосфогипса из Кольского апатита в 8 раз ниже допустимой нормы, принятой ООН по промышленному развитию для материалов, утилизируемых в природной среде [74].

Фосфогипс может быть в трех видах: в виде ангидрита ( $\text{CaSO}_4$ ), полугидрата ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) или дигидрата ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) в зависимости от концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$  и температуры. Дигидрат фосфогипса не обладает какими-либо вяжущими свойствами, в отвалах постепенно теряет воду, превращаясь в сухой белый порошок. Полугидрат фосфогипса (фосфогипс-полугидрат сульфата кальция), отфильтрованный от фосфорной кислоты, охлаждаясь с 90-105 °С до температуры окружающей среды, постепенно переходит в дигидрат, кристаллизуясь и превращаясь в гипсовый камень.

Дигидрат в своем составе имеет примесями растворимых (серная кислота, фосфорная кислота, моно- и дикальций фосфат) и нерастворимых (кремнезем, фосфаты, фториды) веществ [4, 5, 74].

Как правило, предприятия, занимающиеся производством фосфорных удобрений и фосфорной кислоты, выпускают дигидрат или полугидрат фосфогипса в виде влажного порошка, содержащего 25-40 % воды. Дигидрат и полугидрат фосфогипса обычно вывозятся в отвалы и нередко смешиваются друг с другом.

Химический состав фосфогипса в основном определяется качеством используемого фосфатного сырья, а также способом производства продукции.

Органические примеси при сравнительно низком их содержании могут существенно изменять свойства фосфогипса как промышленного сырья, замедлять схватывание и твердение вяжущих на их основе, отрицательно влиять на прочность искусственного камня. Кроме того, состав и количество примесей в фосфогипсе заметно колеблется, что отражается на его физико-химических свойствах и затрудняет его использование.

Фосфогипс химически стабилен, способен длительное время сохранять свои свойства. Способность фосфогипса при внесении в почву сохранять

стабильность, медленно трансформируясь в органоминеральные соединения, является весьма ценным в практическом отношении свойством по поддержанию благоприятных физико-химических и биологических свойств почвы. Как правило, фосфогипс вносят в почву как удобрение один раз в несколько лет в большом количестве, так как в его составе присутствуют такие полезные вещества, как кальций и сера, что увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур [6, 74].

По воздействию на организм человека фосфогипс относится к малоопасным веществам. Имеющиеся в мировой практике пути утилизации фосфогипса, например, в сельском хозяйстве, не нашли широкого применения и использования по экономическим, технологическим и экологическим причинам. В итоге фосфогипс лежит на свалках, в то время как в нашей стране из почв ежегодно вымывается кальций, который необходимо пополнять путём известкования и гипсования. Однако фосфогипс для этих целей практически не используют [7].

В мире ежегодно образуется около 100 млн т фосфогипса, и он практически весь (99 %) направляется в отвалы или сбрасывается в море. Это объясняется тем, что зарубежный фосфогипс, уступая по чистоте природному гипсу, содержит еще и радиоактивную составляющую, что значительно удорожает процесс его очистки. Отечественный фосфогипс, получаемый при переработке Кольского апатитового концентрата, нерадиоактивен, а по содержанию  $\text{Ca804}$  достигает ~ 90-95%. Основные вредные составляющие (фтор и остатки фосфорной кислоты) нейтрализуются в процессе его подготовки к использованию. Использование фосфогипса в России в прошлые годы достигало ~ 2.5 млн т/год (> 10% от текущего выхода). Были построены крупные производства по его переработке. Однако в настоящее время в силу сложившихся обстоятельств (дорогие энергоносители и транспортные перевозки, сокращение объемов строительства, нарушение связи производитель - потребитель) производства по переработке фосфогипса не работают, а поставка фосфогипса сельскому хозяйству и цементной промышленности не выгодна из-за высоких транспортных расходов [5].

Имеющиеся в мировой практике пути утилизации фосфогипса, например,

в сельском хозяйстве, не нашли широкого применения и использования по экономическим, технологическим и экологическим причинам. В итоге фосфогипс лежит на свалках, в то время как в нашей стране из почв ежегодно вымывается кальций, который необходимо пополнять путём известкования и гипсования. Однако фосфогипс для этих целей практически не используют. Следует отметить, что в Бразилии до 40 % фосфогипса применяется в сельском хозяйстве, причем большая его часть используется на посевах сои [4 - 7].

Основная область применения фосфогипса в сельскохозяйственном производстве – мелиорация солонцовых почв, что впервые было обосновано К.К. Гедройцем. На этих почвах его применяют для вытеснения из почвенного поглощающего комплекса (ППК) обменного натрия, который обуславливает их неблагоприятные физико-химические, структурно-механические и физические свойства: повышенная пептизируемость илистой и почвенной массы, твердость почвенной корки, высокая плотность почвы и низкая фильтрационная способность. Замена обменного натрия на кальций обеспечивает улучшение названных свойств солонцов и повышает их плодородие [95].

Фосфогипс эффективно используют на почвах с высоким содержанием натрия для снижения клейкости и предотвращения создания водонепроницаемой корки. В составе фосфогипса присутствует кальций, который вытесняет натрий из грунта и способствует нормализации водопроницаемости. Фосфогипс может применяться для гипсования солонцов и для поверхностного внесения под бобово-злаковые травосмеси. Наличие фосфорной кислоты в фосфогипсе усиливает его удобрительное действие по сравнению с гипсом [54].

Фосфогипс вносят в почву как удобрение один раз в несколько лет в большом количестве. В его составе присутствуют кальций и сера, что увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. К тому же перед внесением в почву он не требует очистки, так как фосфор, который в нем содержится, усваивается растениями. Фосфогипс можно использовать, как в чистом виде для гипсования солонцовых почв, так и в виде смесей с другими известковыми материалами,

применяемыми для химической мелиорации почв. Фосфогипс, в отличие от природного гипса, лучше растворяется в почве. Его вносят в почву один раз в несколько лет в большом количестве – 6-7 тонн на 1 гектар. Помимо функции выщелачивания и снижения щелочности почвы он является еще и удобрением, поскольку в составе присутствуют кальций, фосфор, сера и другие микроэлементы, что увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. К тому же перед внесением в почву фосфогипс не требует очистки, так как фосфор, содержащийся в нем фосфор ( $P_2O_5$ ), хорошо усваивается растениями. По имеющимся сведениям, разовое внесение названной нормы фосфогипса обеспечивает прирост урожайности пшеницы порядка 15 центнеров на 1 гектар (за все время действия) [54].

При этом отмечается, что применение фосфогипса эффективно в различных почвенно-климатических зонах для подкормки зерновых, овощных, технических и других сельскохозяйственных культур, увеличивает урожайность хлопчатника и технологическое качество его волокна. Применение фосфогипса в качестве химического мелиоранта улучшает химические, физические и водно-физические свойства почвы [8, 124].

Зарубежные исследования (США, Австралия) показывают, что фосфогипс находит применение для химической мелиорации солонцовых почв вместо природного гипса в сухих районах под пшеницу, хлопок, свеклу, морковь. Вносят фосфогипс в дозе 2,5-5 т/га на почвы без орошения и 10 т/га в условиях орошения в период вспашки (через 3-5 лет). При этом прирост урожая пшеницы от 420 до 1460 кг/га в первый год возмещает 70-79 % затрат на применение фосфогипса. Свекла и морковь обеспечивают возмещение всех дополнительных затрат на мелиорацию в первый же год [4, 5, 6].

По мнению ученых обязательным агрохимическим мероприятием после внесения фосфогипса является весенний полив участка, который обеспечивает вымывание продуктов обмена (катионов натрия, магния) и улучшение физико-химических свойств почвы [7, 8].

При этом они рекомендуют внесение фосфогипса в качестве удобрения под яровую пшеницу на черноземных почвах летом в системе пара, осенью под основную обработку почвы, весной под предпосевную культивацию. Доза внесения фосфогипса – 3 т/га. Способ его внесения – поверхностно, разбрасывателями туков. Применение фосфогипса позволит повысить водопрочность почвенных агрегатов на 16,7 %, уменьшить содержание воднопептизируемого ила на 1 % и дисперсность почвы на 3,2 %, увеличить содержания питательных веществ и повысить микробиологическую активность почвы. Данный способ повышает урожайность яровой пшеницы на 2,5 ц/га или на 17,7 %, улучшая агрохимические свойства почвы прямым действием и последствием. Позволит получить чистый доход в размере 30300 г/га при рентабельности 68,8 % [18].

По данным ученых ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ внесение фосфогипса оказывает положительное влияние не только на физико-химические свойства почвы, но и на микробиологическую активность. Установлено, что применение фосфогипса под озимую пшеницу, путем заделки половинной нормы под вспашку, а оставшуюся часть весной – под культивацию способствует увеличению численности различных физиологических групп микроорганизмов. При этом наиболее высокие значения исследуемых показателей по сравнению с контролем были достигнуты в результате совместного применения фосфогипса, аммофоса и аммиачной селитры: аммонификаторов – на 123,4 млн КОЕ/г (или в 2,5 раза); нитрификаторов – на 138 млн КОЕ/г (в 3,3 раза); микроскопических грибов – на 90,0 тыс. КОЕ/г (в 1,7 раза); целлюлозоразрушающих микроорганизмов – на 250,6 тыс. КОЕ/г (более чем в 2 раза); аэробных азотфиксаторов рода *Azotobacter* – на 30,7 тыс. КОЕ/г (1,5 раза).

По сведениям Е.П. Добрыднева и др. [54] проведенными полевыми опытами, заложенными в 2007-2009 гг. в ОАО «Заветы Ильича», учеными Кубанского ГАУ выявлено значительное положительное влияние фосфогипса на развитие и продуктивность озимой пшеницы, кукурузы и сахарной свеклы. Сообщается, что под посев кукурузы внесли 3 т/га фосфогипса, урожайность зерна в

варианте с фосфогипсом составила 72,2 ц/га, а без фосфогипса – 66,1 ц/га. Урожайность корнеплодов сахарной свеклы в варианте с фосфогипсом (5 т/га) составила 444,3 ц/га, а без фосфогипса – 401,1 ц/га. Фосфогипс в посев озимой пшеницы внесли осенью и получили урожайность 62,8 ц/га, а без фосфогипса – 59,0 ц/га; в варианте с фосфогипсом значительно повысилось также качество зерна. На протяжении всего периода исследований выявлено существенное положительное влияние фосфогипса на формирование не только продуктивности, но и качества зерна озимой пшеницы: увеличилось содержание белков, углеводов, провитамина А, витаминов группы В, аминокислот, растворимых полисахаридов, а также ряда микроэлементов.

При этом установлено его заметное влияние на физико-химические свойства почв, уровень рН верхнего слоя почвы и его химический состав, на трансформацию органического вещества и развитие фаунистического сообщества. С внесением мелиоранта, как в отдельности, так и в сочетании с органическими удобрениями, улучшается, прежде всего, водно-воздушный режим, уменьшается плотность почвы, увеличивается количество доступных питательных веществ. Отмечено, что повышается аэрация, порозность, инфильтрация почв, возрастают доля кислорода и масса кремнийсодержащих веществ, обладающих мощной потенциальной способностью коагулировать с минеральными и органическими соединениями почвы. При внесении фосфогипса в почву усиливается её поглощательная способность, улучшается пористость. За 3 года проведения опытов содержание органического вещества увеличилось на 0,11 %. В условиях внесения фосфогипса увеличились численность микроорганизмов, использующих органические формы азота – на 9,7 %, на – 7,8 % количество микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот, на – 10,7 актиномицетов, на – 16,3 целлюлозоразрушающих микроорганизмов (в основном за счет рода *Pseudomonas*), на – 8,4 % число колоний азотобактера. Отмечено также повышение ферментативной активности почвы, что благоприятно сказывается на интенсификации разложения свежего органического вещества.

Применение фосфогипса значительно воздействует на фитосанитарное состояние посевов. Снижение засоренности посевов в опыте связывают с более высокой степенью кущения пшеницы, которая в среднем была на  $21 \pm 1,02$  % выше, чем на контроле. Отмечено, что фосфогипс оказал заметное влияние на снижение мышевидных грызунов в посевах пшеницы [66].

Имеются сведения и об эффективности применения фосфогипса и под подсолнечник. При этом отмечается, что наиболее целесообразно его использование в условиях Краснодарского края в комплексе с минеральными удобрениями. Проведенные авторами исследования динамики формирования вегетативной массы растений показало, что полное минеральное удобрение и азотно-калийное в сочетании с фосфогипсом равноценно повышали содержание в биомассе подсолнечника количество фосфора. В вегетативной массе подсолнечника: в фазу бутонизации его содержание на контроле составило в среднем 0,95 %, на вариантах  $N_{20}K_{20}$ +фосфогипс 4-6 т/га – 1,2-1,25 %, соответственно. Минеральные удобрения и их сочетание с фосфогипсом способствовало не только повышению урожайности, но и улучшению качества семян подсолнечника. Масличность от применения  $N_{20}K_{20}$  + фосфогипс 4 т/га и  $N_{20}K_{20}$  + фосфогипс 6 т/га повысилась относительно контроля на 3,1 и 3,9 % [7].

О целесообразности использования фосфогипса в качестве мелиоранта и комплексного минерального удобрения сообщают ученые ФГБНУ ВНИИ агрохимии. Проведенные авторами исследования показали, что внесение фосфогипса существенно снижает плотность темно-каштановых почв в слое 0-30 см. С увеличением дозы фосфогипса происходило разуплотнение пахотного горизонта до  $1,16 \text{ г/см}^3$  или на 14 %. Внесение фосфогипса приводило к увеличению содержания в почве элементов питания и повышению содержания органического вещества. При внесении 8 т/га фосфогипса на фоне минеральных удобрений отмечено наибольшее увеличение содержания в почве азота, фосфора и калия: на 41,7, 43,5 и 24,6 %, соответственно. Применение фосфогипса способствовало сдвигу реакции почвенной среды в сторону нейтральной. С повышением его дозы увеличивался дрейф показателя, так при дозе 4 т/га, разница с контрольным вариантом

составила 0,52 ед. рН, при внесении 8 т/га – 0,82 ед. Экологическая оценка эффективности фосфогипса не выявила загрязнения почв и растений подсолнечника тяжелыми металлами. В условиях применения мелиоранта выявлено увеличение всех показателей структуры урожая, наилучшие показатели были на фоне дозы фосфогипса 4 т/га. При этом отмечено улучшение качества семян. Наибольшая масличность наблюдалась в варианте с внесением 4 т/га фосфогипса и составляла 49,6 %. Увеличение дозы мелиоранта вдвое приводило к снижению масличности семян до 48,1%. Применение минеральных удобрений в сочетании с фосфогипсом в дозе 4 т/га обеспечило получение прибавки урожая 0,65 т/га. Этот вариант был наиболее рентабельным – 197,7 %. Дальнейшее увеличение дозы фосфогипса – до 8 т/га снизило рентабельность до 188,28 %, несмотря на более высокую урожайность, что связано с большими затратами на его внесение и транспортировку [4, 5, 6, 7].

Разработана и предложена технология получения органоминерального удобрения на основе бесподстилочного навоза КРС, почвы, внутрифермских отходов, соломы и фосфогипса. Данный способ позволяет снизить потери азота и органического вещества до 40 %. При чередовании слоев навоза КРС и других сельскохозяйственных отходов с фосфогипсом происходит поглощение аммиака в связи с обменом катионов фосфогипса на ионы аммония, усиливается активность микрофлоры и снижается численность гельминтов. Данный способ прост, энергоэкономичен, позволяет за короткий срок получить высокоэффективное удобрение, улучшающее физико-химические и биологические свойства почвы, что способствует повышению урожая сельскохозяйственных культур. Установлено, что аммиачный азот в навозе находится в форме гидрокарбоната аммония, вместе с сульфатом аммония образуется не карбонат, а гидрокарбонат кальция. В отличие от карбоната кальция, он растворяется в воде и как соль слабой кислоты (угольной) и сильного основания (гидроксида кальция) испытывает гидролиз. Вследствие этого образуется гидроксид кальция; в навозе создается щелочная среда. Кроме того, навоз в буртах разогревается до 50-60 °С.

Благодаря сохраненному азоту, а также фосфору, сере и кальцию, внесенным с фосфогипсом, в навозе увеличивается содержание питательных элементов, что значительно повышает его эффективность как удобрения.

Совместное использование фосфогипса, включающего значительное количество минеральных коллоидов, с органическими отходами приводит к интенсивному агрегированию и созданию благоприятной для сельскохозяйственных культур структуры почвы. Слабая растворимость фосфогипса предотвращает необходимость его ежегодного внесения и положительно влияет на физические свойства почвы.

Важно отметить природоохранную роль фосфогипса, при внесении которого образуются малорастворимые соединения с тяжелыми элементами [7]. Фосфогипс может успешно применяться при рекультивации почвы, загрязненной нефтепродуктами, что также подтверждено производственными опытами. На третий год на сильно загрязненном нефтепродуктами участке всхожесть семян озимой пшеницы практически не изменялась по сравнению с незагрязненной почвой. Проростки в варианте при совместном использовании перегноя и фосфогипса имели лучшую жизнеспособность [69].

Об возможности использования фосфогипса в качестве мелиоранта для земель, загрязненных нефтью сообщает и С.И. Колесников и др. (Южный федеральный университет). Авторы приводят данные, полученные опытах на черноземных почвах Ботанического сада университета показывающие, что загрязнение чернозема обыкновенного нефтью значительно снизило его каталазную активность. Но при этом во всех исследованных случаях использование фосфогипса и мочевины как отдельно, так и совместно увеличивало активность каталазы в загрязненной нефтью почве на 10-20 %. В опытах нефть вносили в количестве 5 % от массы почвы, фосфогипс применяли в дозе 50 г/кг почвы. Мочевину использовали в количестве, приводящем соотношение углерода и азота (С: К) к 5: 1 [74].

Исследования по агроэкологической эффективности фосфогипса проведены по многих регионах нашей страны, в том числе в Ростовской области. При этом Администрация Ростовской области обратила внимание на внедрение этого

эффективного агроприема в сельскохозяйственное производство. 20 января 2012 года было принято Постановление Правительства Ростовской области № 33 «О порядке предоставления субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям на возмещение части затрат на приобретение и доставку фосфогипса для проведения химической мелиорации солонцовых земель и мелиоративную вспашку солонцов». В нем утверждено Положение о порядке предоставления субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям на возмещение 70 % затрат на приобретение и доставку фосфогипса для проведения химической мелиорации.

Стационарные полевые исследования по выявлению оптимальных способов и доз внесения фосфогипса на физические свойства почв проводились в Сальском районе Ростовской области учеными Новочеркасского научно-исследовательского института проблем мелиорации. Объектом исследований стали южные черноземы и солонцы, составляющие комплексный почвенный покров с участием солонцов более 35 %. В опытах изучалось влияние фосфогипса на свойства солонцов и зональных почв на фоне глубокого рыхления и использования сидератов. Выявлено, что сидерация, глубокое рыхление и внесение фосфогипса улучшают физические свойства почв комплексного покрова. При этом наиболее существенные изменения произошли на солонце при проведении сидерации, глубокого рыхления и химической мелиорации с дозой фосфогипса 10 т/га. На черноземе лучшей дозой фосфогипса являлась 5 т/га. Ее увеличение вдвое не способствовало достоверному улучшению физических свойств почвы [4, 5, 6, 7, 95].

Относительно способов внесения фосфогипса в почву В.В. Окорков (Владимирский НИИСХ) сообщает, что коэффициент использования мелиоранта при различных способах его внесения (поверхностно, под вспашку, дробно) а также, всхожесть и урожайность ячменя было близким, хотя и отмечалась тенденция к повышению всхожести при поверхностной заделке фосфогипса, а урожайности – при внесении его под вспашку и дробно (одна половина дозы под вспашку, другая – поверхностно под луцильник). По сравнению с поверхностным внесе-

нием при этих способах растения полнее используют фосфор фосфогипса, отмечается более интенсивное рассолонцевание слоя почвы 20-40 см. Наиболее эффективно внесение фосфогипса на мало- и средне натриевых солонцах. Положительная роль мелиоранта, внесенного под вспашку на темно-каштановой почве, связана с обогащением ее подвижным фосфором.

На лугово-черноземных средне натриевых солонцах (совхоз «Новорыбинский») не выявлено преимуществ влияния увеличения степени крошения почвы и интенсивности ее перемешивания с фосфогипсом на скорость мелиоративного процесса и урожайность ячменя. Степень крошения почвы, достигаемая вспашкой плугом, достаточна для успешного протекания мелиоративного процесса. На скорость последнего не влияла и степень измельчения фосфогипса.

Автор считает, что для расчета оптимальных доз фосфогипса необходимо использовать следующую формулу  $ФГ = 0,086 \cdot V (Na - 0,1E) / K$ , где  $ФГ$  – доза фосфогипса, т/га;  $V$  – объемная масса мелиорируемого слоя почвы, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – мощность мелиорируемого слоя почвы, см;  $Na$  – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;  $E$  – емкость обмена почвы, мг-экв/100 г;  $K$  – коэффициент использования фосфогипса на вытеснение обменного натрия с учетом подключения к мелиоративному процессу карбоната кальция почвы. Для мало-, средне- и многонатриевых солонцов величины соответственно равны 0,70; 0,80 и 0,90.

Отмечается, что наиболее высокая окупаемость 1 т фосфогипса прибавкой зерна ячменя установлена при применении оптимальных доз мелиоранта. Отмечена несколько более высокая скорость рассоления и рассолонцевания при внесении полной дозы фосфогипса, эквивалентной содержанию обменного натрия [95].

О высокой мелиорирующей роли фосфогипса, особенно на орошаемых землях сообщает Р. Бекбаев (Казахский НИИ водного хозяйства). Автор отмечает, что при орошении происходят ускоренные потери органического вещества и кальция. В результате на почве после выпадения атмосферных осадков или проведения вегетационных поливов формируется корка, поэтому возникают

осложнения по получению дружных всходов и высоких урожаев возделываемых культур. Для пополнения запасов кальция в почве предлагается использовать фосфогипс, вырабатываемый на химических заводах города Тараза. По мелиоративному эффекту фосфогипс относится к кислым мелиорантам, поэтому в щелочной среде он лучше растворяется и обеспечивает коренное улучшение физико-химических свойств орошаемых почв. Фосфогипс на 30-35 % повышает скорость впитывания воды и улучшает водоснабжение растений.

Опытами автора установлено, что фосфогипс усиливает темпы роста и развития кукурузы. На варианте без внесения фосфогипса количество зерен в початке изменялось от 364 до 682 шт., а вес 1000 зерен - от 240 до 357 г. При внесении 3,5 т/га фосфогипса количество зерен в початке повысилось до 356-745 шт., а вес 1000 зерен - до 245-386 г. При норме внесения фосфогипса 7 т/га в початке содержалось 584-820 зерен, а вес 1000 зерен колебался от 332 до 407 г. Разница в количестве и весе зерен в початке кукурузы предопределила различную биологическую урожайность кукурузы на зерно. При этом минимальная урожайность получена в варианте без внесения фосфогипса. Внесение фосфогипса повысило урожайность кукурузы, ее максимальные значения получены при норме внесения фосфогипса 6 - 7 т/га.

Для расчета норм внесения фосфогипса автор предлагает использовать формулу, которая при мелиорации щелочных почв, с повышенным содержанием магния, учитывает расходы химмелиорантов на нейтрализацию щелочности  $N = K \times [(Mg - 0,3E) + (S-L)] \times h \times d : c$ , где: N – норма внесения, т/га; K – коэффициент перевода содержания гипса в химмелиоранте, соответствующего 1 мг-экв (для фосфогипса химзавода г. Тараз равен 0,08); Mg – обменный магний, мг-экв на 100 г почвы; E – емкость обмена, мг-экв на 100 г почвы; h – мощность мелиорируемого слоя, см; d – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>; c – содержание гипса (CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O) в фосфогипсе (зависит от запасов воды); 0,25-0,3 – количество магния, не являющееся вредным для растений, мг-экв на 100 г почвы (для глинистых и суглинистых почв); S – содержание CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> в водной вытяжке,

мг-экв на 100 г почвы; L – количество  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  не являющимся вредным для растений, мг-экв на 100 г почвы [18].

О возможности использования фосфогипса в качестве мелиоранта на орошаемых землях сообщает Л. М. Докучаева (ФГБНУ «РосНИИПМ»). Автор утверждает, что наиболее распространенными неблагоприятными процессами на орошаемых землях являются щелочность и солонцеватость, связанные с выщелачиванием кальция и заменой его на натрий. Особенно эти явления усиливаются при поливах слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава. Кроме этого орошаемые почвы подвержены и дегумификации, то есть потере гумуса.

Многолетние исследования, проведенные в ООО «Приазовье» Ростовской области, показали, что по своему мелиорирующему воздействию фосфогипс гораздо эффективнее гипса. К третьему году последствия в черноземе обыкновенном, орошаемом водой плохого качества, солонцеватость на варианте с полной дозой гипса снизилась на 30 %, а фосфогипса – втрое. На варианте с полной дозой фосфогипса содержание кальция в почвенном поглощающем комплексе (ППК) возросло до оптимальных параметров, достигнув 85 %. При полной дозе гипса эта величина составила только 81 %, а на контроле всего 76 %. Улучшились физико-химические свойства чернозема и показатели содоустойчивости. Почвы, не обладающие содоустойчивостью, при мелиорации полной дозой фосфогипса к третьему году последствия приобрели среднюю содоустойчивость, а на вариантах с гипсом – слабую. С оптимизацией физико-химических свойств улучшились и физические свойства почвы. На варианте с полной дозой гипса водопрочность стала удовлетворительной, а фосфогипса – хорошей, в то время как на контроле она оставалась недостаточно удовлетворительной. Кроме этого менялась порозность почвы, которая на варианте с полной дозой фосфогипса стала отличной. На вариантах с гипсом и половинной дозой фосфогипса – удовлетворительной, а на контроле – неудовлетворительной. Об улучшении физических свойств чернозема свидетельствуют также показатели плотности почв, которые на варианте с полной дозой фосфогипса характеризуют ее как уплотненную, на

остальных вариантах - как сильно уплотненную, требующую рыхления. Все это сказывалось на урожайности озимой пшеницы, которая в среднем за три года в варианте с гипсом была на 28 % выше, а с фосфогипсом на 46 % выше, чем на контроле.

По мнению автора, мелиорирующее воздействие изучаемых мелиорантов на свойства почв определяется реакцией среды (рН) фосфогипса и гипса. Фосфогипс имеет более кислую реакцию, и быстрее вступает во взаимодействие с натрием ППК, а гипс, имея нейтральную реакцию, гораздо слабее по воздействию на ППК и считается медленнодействующим мелиорантом.

Автор предлагает использовать фосфогипс и для восполнения потерь гумуса. В его опытах были приготовлены различные удобрительно-мелиорирующие компосты: на основе, привозного кальцийсодержащего мелиоранта, глауконита - местной минеральной кальцийсодержащей залежи, птичьего помета, а также фосфогипса. Опытами установлено, что глауконитосодержащие компосты начали проявлять себя как мелиоранты только с третьего года последействия. В то время как, при применении фосфогипсодержащих компостов уже в первый год в черноземе обыкновенном исчезала щелочность и солонцеватость и эти процессы уже не проявлялись в последующие годы. В связи с этим уже в первый год наибольшие урожаи картофеля были получены на вариантах с компостами из Пп + Ф и Пп + Ф + Гл. Прибавки, соответственно, составили 11,6 и 10,8 т/га. Это объясняется тем, что фосфогипсодержащие компосты уже в первый год устранили щелочность, снизили солонцеватость, что сразу же сказалось на развитии растений. В среднем за шесть лет последействия фосфогипсодержащих мелиорантов стоимость дополнительной продукции составила от 68,4 до 72,4 тыс. руб./га, экономический эффект – 65,3-70,0 тыс. руб./га [34].

Изучено применение фосфогипса на черноземе, выщелоченном слитом. Схема опыта включала контроль, несколько стандартных вариантов минерального удобрения, фосфогипса в дозе 10 т/га. В контрольном варианте содержание физической глины в пахотном горизонте составило 71%, в иллювиальном горизонте – 76 %, плотность почвы соответственно была равной 1.33 и 1.55 т/м<sup>3</sup>, то

есть наблюдались крайне неблагоприятные агрофизические свойства почвы. После внесения фосфогипса они улучшились. Урожайность зерна кукурузы повысилась с 5,99 (контроль) до 8,37 т/га [35].

Внесение фосфогипса в чернозем улучшает агрофизические свойства и питательный режим почвы. Фосфогипс обеспечивает улучшение условий агрегирования тонких фракций компоста и почвы. Стабилизация органического вещества идет в виде вторичных органоминеральных комплексов. Формирование благоприятного гранулометрического и агрегатного состава почвы показано объективными данными исследований на микроскопическом уровне. На коллоидных частицах фосфогипса устойчиво фиксируются тонкодисперсные частицы внесенного органического вещества и тонкодисперсные частицы почвы. Тонкодисперсная фракция смеси почвы, органического вещества и фосфогипса представлена темно-серыми структурными образованиями размером 1-2 мм, форма которых отличается от частиц фосфогипса более округлыми и рыхлыми контурами за счет скопления на них пылеватых частиц и органических веществ. Данные гранулы достаточно устойчивы в воде, за счет чего улучшается агрегатный состав, аэрация и условия увлажнения почвы. Так, в почве содержание фракции ила составляло 48 %, а в смеси с фосфогипсом – 15-24 %. Содержание фракции мелкой пыли в чистой почве было равным 13 %, в чистом фосфогипсе – 5 %, а в их смеси – 27 %. Таким образом, при внесении фосфогипса степень супердисперсности тонкой фракции почвы уменьшается [55].

По данным Н. И. Акановой фосфогипс эффективен и на почвах с избыточной кислотностью, которые наиболее обеднены подвижной кремниевой кислотой. В данном случае он служит хорошим источником кремния для растений на оподзоленных и выщелоченных черноземах предлагается совместное применение фосфоритной муки и фосфогипса для перевода труднодоступных соединений фосфора фосфоритов в более доступную растениям форму. Образующаяся при внесении фосфогипса в кислую почву серная кислота при этом расходуется на разложение фосфоритов. На дерново-подзолистых почвах и черноземах лесо-

степи можно применять смесь фосфогипса с известкующим материалом, в качестве которого эффективно использовали технологический мел (побочный продукт производства фосфорных удобрений по азотнокислотной технологии), в соотношении от 1:1.5 до 1:4. Прибавка урожайности зерна по сравнению с чистым химическим мелиорантом составляет не менее 2.5 ц зерна с 1 га [6].

Имеются сведения и о применении фосфогипса на почвах Среднего Поволжья. Так засушливым летом 2018 года, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова провёл эксперимент на тяжёлосуглинистой почве опытного поля в с. Степное Саратовской области с целью оценки влияния внесения фосфогипса совместно с аммофосом на урожайность и почвенное плодородие. Во время опыта были использованы три схемы: «чистое» (контрольное) поле; участок, на который вносили только аммофос; и делянка с внесением аммофоса и фосфогипса в дозе 150 кг/га и 4 т/га, соответственно. В итоге внесение одного аммофоса дало 2,05 т/га семян подсолнечника, а его сочетание с фосфогипсом уже 2,28 т/га или на 11 % больше. Проведённый опыт подтвердил почвоулучшающие и удобрительные свойства фосфогипса, а также его экологическую безопасность. При внесении 4 т/га фосфогипса производства Балаковского химического комплекса компании «ФосАгро» в почву поступает порядка 40 кг  $P_2O_5$ .

Таким образом анализ доступной литературы позволяет сделать заключение, что исследования по применению фосфогипса, в качестве мелиоранта проводились во многих регионах нашей страны и за рубежом. Имеется достаточно сведения о его эффективности при внесении под основные сельскохозяйственные культуры на различных почвах, как при богарном земледелии, так и при орошении. В большинстве случаев определены и оптимальные нормы его применения, а также способы внесения в почву. Сообщается и о экологической безопасности данного природного мелиоранта.

Имеются сведения и начале применении фосфогипса в условиях Среднего Поволжья. Однако практически ничего не сообщается о его использовании на солонцовых землях Самарской области, площадь которых достигает 110 тыс. га. И это несмотря на то, что ООО "БМУ" (Балаковские минеральные удобрения),

где в отвалах накоплено более 40 млн. т фосфогипса находится на расстоянии 260 км от города Самара, а территории южных районов области, где в основном и сосредоточены засоленные земли буквально на удалении 100-150 км от мест хранения фосфогипса.

Все это подтверждает наше мнение о необходимости выполнения широких научных исследований по применению фосфогипса в различных агроклиматических зонах Самарской области, закладке демонстрационных опытов и доведении результатов исследований до сельхозпроизводителей.

## **1.2. Тяжелые металлы в почве: физиологическая роль, нормирование, приемы детоксикации**

Почва является специфическим компонентом биосферы, поскольку она не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество.

Почва обладает способностью самоочищения. В этом процессе участвует огромное количество микроорганизмов и простейших, и многоклеточных. В результате их жизнедеятельности происходит распад органических веществ – нечистот, навоза, трупов животных – до минеральных солей, воды, углекислоты, которые затем потребляются растениями. Наряду с этим образуется и особое органическое вещество – гумус, имеющий большое значение для урожайности. Самоочищение почвы – элемент кругооборота веществ на планете. Однако способность к самоочищению может быть нарушена в результате необдуманного вмешательства человека, если загрязняющие вещества поступают в почву в слишком больших количествах [60].

Интенсивность развития промышленности, энергетики, транспорта, разработка полезных ископаемых, химизация сельского хозяйства привели к резкому

росту уровня загрязнения природной среды и в первую очередь почвенного покрова. В последние десятилетия среди наиболее опасных загрязнителей экосистем все чаще называют тяжелые металлы (ТМ) [109, 132].

Примерно 90 % тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, аккумулируются почвами. Затем металлы и их соединения мигрируют в природные воды, поглощаются растениями и поступают в пищевые цепи. В живых организмах тяжелые металлы играют двоякую роль. В малых количествах они входят в состав биологически активных веществ, регулирующих нормальный ход процессов жизнедеятельности. Повышенные концентрации тяжелых металлов в результате техногенного загрязнения приводят к отрицательным и даже катастрофическим последствиям для живых организмов [78].

Загрязнение ухудшает экологическое и санитарно-гигиеническое состояние земель, а степень химического загрязнения служит устойчивым индикатором экологической обстановки [151].

К эссенциальным, или жизненно необходимым, микроэлементам относят железо, медь, цинк, марганец, йод, молибден, хром, кобальт, селен. Эти элементы являются составной частью ферментативных систем. Они участвуют в переносе кислорода, энергии, передвижении электронов через мембраны клеток, влияют на синтез и передачу наследственной информации, т.е. являются незаменимыми в жизненно важных процессах. Недостаток или полное их отсутствие губительно сказываются на организме. Благодаря этому они нашли широкое применение в сельском хозяйстве и медицине. Их классификация зависит от концентрации: при дефиците в живых организмах эти соединения рассматриваются как микроэлементы, а при избытке – как тяжелые металлы. Иначе говоря, высокая концентрация любого элемента делает его опасным для всего живого. Не являются исключением кобальт, цинк и медь [14, 179, 181, 184].

Микроэлементы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвы, и их дальнейшая судьба зависит от ее механических, химических и физических свойств [68].

Уровни содержания микроэлементов в почвах, обусловлены их концентрацией в почвообразующих породах, а их дальнейшая миграция зависит в свою очередь от свойств самих почв [104].

Микроэлементы необходимы растениям в относительно малых количествах. Их недостаток в почве, как и избыток, приводит к снижению урожайности культурных растений, ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, а в некоторых случаях является причиной эндемических заболеваний растений, животных и человека [108].

При содержании тяжелых металлов ниже уровня ПДК большинство из элементов, относящихся к группе ТМ, рассматриваются в качестве микроэлементов (МЭ), необходимых для нормального функционирования живых организмов [76].

Но существует группа металлов, за которыми закрепилось только одно определение – «тяжелые», т. е. токсичные. Это, прежде всего, ртуть, кадмий, свинец и мышьяк. Среди названных металлов особенно ядовиты для всего живого ртуть и кадмий [129, 191].

Существуют различные оценки опасности отходов, загрязняющих землю. Наиболее опасны те токсичные терраполлютанты, которые и геохимически, и биохимически достаточно подвижны и могут попасть в питьевую воду или в растения, служащие пищей для человека и сельскохозяйственных животных. Это, в первую очередь, соединения тяжелых металлов, некоторые производные нефтепродуктов – полициклические ароматические углеводороды и соединения типа диоксинов, а также разнообразные синтетические яды-биоциды [10].

Важным фактором антропогенного воздействия на почву является применение минеральных удобрений. Особенно остро стоит проблема азотных удобрений [135].

Тяжелые металлы попадают в почву вместе с удобрениями, в состав которых входят как примеси, а также с биоцидами. Техногенное поступление металлов в почву, закрепление их в гумусовых горизонтах и почвенном профиле в це-

лом не может быть равномерным. Оно зависит от особенностей источников загрязнения, метеорологических особенностей региона, геохимических факторов и ландшафтной обстановки в целом [52].

Применение удобрений неизбежно вносит в почву, в биогеоценоз так называемые балластные элементы, которые не нужны растениям и могут загрязнять почву и сопряженные среды – грунтовые воды, реки и т.д. [139].

Наряду с этим происходит неконтролируемое загрязнение почв тяжелыми металлами [135, 153]. С выхлопными газами на поверхность почв попадает более 250 тыс. т свинца в год; это главный источник загрязнения почв свинцом [49]. Высокое содержание свинца в почве приводит к повышению его в контактирующих средах: атмосферном воздухе, воде, пищевых продуктах в свою очередь обуславливает высокое содержание этого элемента в крови людей [37].

К критической группе веществ – индикаторов стресса окружающей среды из тяжелых металлов относят ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, селен и фтор. Среди них особо опасные первые три элемента [52, 165, 174].

Токсичные соединения включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, в организмы животных и человека [139], это приводит к угнетению растений, отрицательно сказывается на животных и прямо или косвенно на человеке [116].

Тяжелые металлы, накапливаясь в почве в больших количествах, способны изменять некоторые ее свойства, в первую очередь биологические [39].

До тех пор, пока тяжелые металлы прочно связаны с составными частями почвы и труднодоступны, их отрицательное влияние на почву и окружающую среду будет незначительным. Однако если почвенные условия позволяют перейти тяжелым металлам в почвенный раствор, появляется прямая опасность загрязнения почв [115].

Тяжелые металлы, поступая из почвы, передаваясь по цепи питания, оказывают токсичное действие на растения, животных и человека [52], подавляют биохимическую активность почвенных микроорганизмов, вызывают изменение

их общей численности, влияют на видовой состав и жизнедеятельность. Они ингибируют процессы минерализации и синтеза различных веществ в почве, подавляют дыхание почвенных микроорганизмов, вызывают микробостатический эффект, способствуют проявлению мутагенных свойств. Высокие концентрации тяжелых металлов тормозят ферментативную деятельность в почвах: активность амилазы, дегидрогеназы, уреазы, инвертазы, каталазы [152].

Среди всех источников загрязнения почв агроландшафтов наибольшая доля приходится на орошение сточными водами [114].

Перед использованием сточные воды проходят механическую и биологическую очистки на очистных сооружениях, но они по-прежнему содержат значительное количество тяжёлых металлов.

К числу важнейших процессов, обуславливающих распределение химических элементов в почвах, относятся: осаждение, включение в минералы; адсорбция минеральными компонентами почвы; сорбция органическим веществом; выщелачивание из почв [26].

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве является в настоящее время довольно сложной проблемой, так как невозможно полностью учесть все факторы изменяющейся природной среды. Изменение одних факторов неизменно приводит к изменению других. При меняющихся агрохимических свойствах почвы (реакция среды, содержание гумуса, степень насыщенности основаниями, гранулометрический состав) увеличивается или уменьшается в несколько раз содержание тяжелых металлов в растениях [28].

Нормирование тяжелых металлов в почвах необходимо для установления их фоновых значений и установление их предельно допустимых концентраций (ПДК) [29, 40].

Под ПДК тяжелых металлов следует понимать такую их концентрацию, которая при длительном действии на почву не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов, а также не приводит к накоплению токсических элементов в растениях и, следовательно, не мо-

жет нарушить биологический оптимум для животных и человек [65]. В некоторых случаях за предельно – допустимую концентрацию принято самое высокое содержание металлов, наблюдаемое в обычных антропогенных почвах, в других – содержание, являющееся предельным по фитотоксичности.

В последнее время осуществляются попытки создать ПДК для всех почвенных типов различных климатических зон [43]. Для почв различных территорий необходимо рассчитать предельную величину нагрузок, обеспечивающее нормальное функционирование экосистем. Часто нормирование осуществляется для агрономических, санитарно–гигиенических и почвенно–экологических целей [69].

Наиболее разработаны нормативы для валовых форм, которые характеризуют общую загрязненность почвы, а доступные для растений подвижные формы изучены недостаточно [109]. ПДК подвижных форм некоторых наиболее распространенных и токсичных тяжелых металлов представлены в таблице 1.2.1.

Медики-гигиенисты часто оценивают ПДК по трем показателям: транслокационному (переход тяжелых металлов из почвы в растения через корни), водному (переход в воду) и общесанитарному (влияние на почвенную биоту, на самоочищение, на ферментативную активность и азотфиксацию). Отмечается, что ПДК тяжелых металлов в почвах разных стран рассматриваются как непостоянные относительные величины, которые зависят от почвенно-экологических условий конкретных регионов.

В последнее время ставятся вопросы о целесообразности применения ПДК. Более того, некоторые исследователи даже настаивают на отмене данного показателя [46], так как ПДК некоторых веществ оказываются ниже их фонового содержания в почвах.

ПДК установлены для более 1000 химических веществ в воде, более 250 в атмосферном воздухе и более 30 в почвах, однако нормативы ПДК часто не отражают настоящей роли элементов в различных экосистемах и являются недостаточно обоснованными. Так же недостаточно изученным является влияние на почвенную микробиоту.

Таблица 1.2.1 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов в почвах по СанПиН 1.2.3685-21, мг/кг [117]

| Элемент – класс опасности –<br>лимитирующий показатель вредности / почва | ПДК/ОДК |           |
|--|---------|-----------|
|  | валовая | подвижная |
| <b>Cd – 1</b>  |         |           |
| песчаные и супесчаные  | 0,5     | -         |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 1,0     | -         |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 2,0     | -         |
| <b>Pb – 1 - общесанитарный</b>   |         |           |
| песчаные и супесчаные  | 32      | 6,0       |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 65      |           |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 130     |           |
| <b>Cu – 2 - общесанитарный</b>   |         |           |
| песчаные и супесчаные  | 33      | 3,0       |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 66      |           |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 132     |           |
| <b>Zn – 1 - общесанитарный</b>   |         |           |
| песчаные и супесчаные  | 55      | 23        |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 110     |           |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 220     |           |
| Mn   | 1500    | -         |
| Fe   | -       | -         |
| Hg – 1 - транслокационный  | 2,1     | -         |
| Ni – 2 - общесанитарный  | -       | 4,0       |
| песчаные и супесчаные  | 20      | -         |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 40      | -         |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 80      | -         |
| <b>As - 1</b>  |         |           |
| песчаные и супесчаные  | 2       | -         |
| кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5                             | 5       | -         |
| близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5 | 10      | -         |

Тем не менее, эти факторы не должны исключать важное методологическое значения ПДК как главного критерия, который необходим для оценки качества окружающей среды.

Разработанные ориентировочно – допустимые концентрации (ОДК) для валового содержания тяжелых металлов и мышьяка позволяют получить более полную характеристику о загрязнении почвы тяжелыми металлами, так как учитывают уровень реакции среды и гранулометрический состав почв [28].

Загрязнители можно разделить на четыре группы: почво-химически активные, биохимически активные, а также сочетающие в себе признаки обеих групп и индифферентные [28]. В первую группу включены вещества (оксиды щелочноземельных катионов, минеральные кислоты), воздействующие на щелочно-кислотные окислительно-восстановительные условия, меняющие педохимическую обстановку, морфологию почвенного профиля, во вторую – вещества, активно воздействующие на биоту почв. Это – тяжелые металлы, радиоактивные вещества. В третью входят вещества, которые одновременно относятся к почво-химически активным, которые также требуют повышенного внимания. Это тяжелые металлы в высоких концентрациях, способные к гидролизу, отрицательно воздействующие не только на биоту, но и на физико-химические свойства почв, причем это воздействие достаточно длительное и может привести к серьезным последствиям. К четвертой группе отнесены оксиды кремния, железа, глинистые минералы и другие, не оказывающие существенного влияния на почвенно-растительный покров. Нормирование содержания загрязнителей в почвенно-растительном покрове должно учитывать ситуацию, когда скорость поступления загрязнителей значительно выше скорости их почвенной трансформации. Такая ситуация складывается в локальной зоне загрязнения и может приводить к необратимым последствиям [31, 51].

В условиях промывного водного режима существует несколько приемов детоксикации почв: тяжелые металлы могут выводиться за пределы почвенного профиля, то есть общее содержание тяжелых металлов в почве снижается до необходимых значений, однако существует некоторая опасность их проникновения

в грунтовые воды; либо могут связываться под действием различных факторов в нерастворимые, недоступные растениям соединения, происходит постепенная аккумуляция токсичных элементов в верхнем горизонте (если не устранен источник загрязнения), хотя и в малоподвижном, недоступном растениям состоянии. Данная способность почв может быть усилена с помощью ряда агрохимических и агромелиоративных приемов. Для этой цели используются известкование, внесение органических удобрений, искусственных и природных сорбентов и некоторые другие методы. Все эти приемы направлены на улучшение таких показателей, как гумусированность, структурное состояние, емкость катионного обмена, реакция среды и, помимо снижения токсичности тяжелых металлов, ведут к окультуриванию почв, повышению их плодородия. Только в редких случаях, при крайне высоком уровне загрязнения, необходимы механические приемы по удалению, засыпке, запахиванию загрязненного слоя [131, 145].

Все приемы снижения фитотоксичности почв можно подразделить на предупредительные и способствующие ликвидации уже существующего загрязнения. Основное мероприятие по защите почв и растений от загрязнения тяжелыми металлами -предотвращение загрязнения, которое базируется на совершенствовании технологий производства, создании замкнутых технологических систем, на контроле внесения в почву отходов промышленности в качестве удобрений и мелиоратов [136].

Помимо предупредительных мер, большое значение имеют меры по ликвидации уже существующего загрязнения, подразумевающие использование материалов, связывающих тяжелые металлы в недоступную растениям форму.

Загрязнение почв тяжелыми металлами относится к необратимым видам деградации. Практически невозможно снизить валовое содержание тяжелых металлов в загрязненных почвах. Однако, можно значительно снизить их подвижность и сделать менее доступными для растений. Среди основных приемов детоксикации и рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами, выделяют известкование, внесение органических и минеральных удобрений, приме-

нение цеолитов, глинование, подбор устойчивых сельскохозяйственных растений, снижающих подвижность тяжелых металлов, закрепляющих их в почве. Это приводит к уменьшению их доступности для растений, снижению токсичности и сокращению их накоплений в биомассе растений [49, 50].

Несмотря на разногласия в том, какой процесс преимущественно контролирует подвижность ТМ в почвах, адсорбция – поглощение ионов тяжелых металлов или образование труднорастворимых соединений, наблюдения разных авторов показывают, что они наименее подвижны при нейтральной и слабощелочной реакции среды.

Необходимым мероприятием по снижению накопления ТМ в почве является введение в полевые севообороты многолетних трав, способных повысить содержание гумуса, обогатить почву азотом [64, 65].

Внесение извести отдельно и вместе с навозом уменьшает отрицательное влияние тяжелых металлов на урожайность сельскохозяйственных культур, а также сокращает поступление тяжелых металлов в растениеводческую продукцию [75].

Кроме физических и химических приемов по восстановлению загрязненных ТМ почв, применяют агротехнические приемы.

Глубокая вспашка способствует разбавлению верхних загрязненных горизонтов почвы и снижению массовой доли загрязняющего химического вещества [97].

### **1.3. Устойчивость овощных культур к действию тяжелых металлов**

Важным аспектом в исследовании влияния тяжелых металлов на растения является изучение процессов их поглощения и миграции. Растения могут поглощать из окружающей среды большинство химических элементов в больших или меньших количествах [130].

Наземные растения способны поглощать тяжелые металлы корнями из двух источников – почвы и воздуха [27, 99]. Механизмы поступления металлов

в растения корневым путем включают как пассивный (неметаболический) перенос ионов в клетку в соответствии с градиентом их концентрации, так и активный (метаболический) процесс поглощения клеткой против градиента концентрации [159, 160, 167].

Значительное влияние на поступление металлов в растения оказывают физико-химические свойства почвы, на которой они произрастают: тип почвы, ее химический и механический составы, рН, содержание органического вещества, обменная катионная способность, микрофлора и др. [65, 183, 185]. Почвенные факторы могут избирательно увеличивать или уменьшать поступление тяжелых металлов в растения. Для многих металлов увеличение их поглощения растениями может быть обусловлено понижением рН почвы, добавлением хелатирующих веществ, использованием удобрений и др. [162].

Сопrotивляемость некислой тяжелой почвы с высоким содержанием органического вещества в несколько раз выше, чем у легкой песчаной кислой почвы. Суглинистые нейтральные почвы могут накапливать большое количество микроэлементов с меньшей степенью риска для среды. Однако общая химическая неустойчивость таких почв обычно приводит к пониженной биологической активности, падению и росту рН и в последующем – к деградации органоминеральных комплексов [68].

В большинстве случаев поглощение ионов тяжелых металлов растениями находится в прямой зависимости от их доступного содержания в почве или почвенном растворе, например, в виде свободных ионов [187].

Значительное влияние на поступление тяжелых металлов в растения оказывают другие ионы [68]. При этом наибольший антагонизм проявляют элементы-аналоги и гомологи, а также катионы одинаковой валентности, способные образовывать сходные комплексы [172, 189].

Поступление тяжелых металлов в растения корневым путем может регулироваться механизмами, которые уменьшают их концентрацию на наружной поверхности мембраны клеток корня, в результате чего меньшее количество металлов попадает в клетку [180].

Скорости поглощения и миграции металлов могут различаться у растений разных видов, и это является одной из причин, определяющих особенности их накопления и распределения [161, 190].

Необходимо отметить, что корневая система является мощным барьером на пути транспорта тяжелых металлов в надземные органы растений [118, 173, 189]. Помимо корневого у растений существуют еще два физиологических барьера, где возможно связывание тяжелых металлов: на границе корень – стебель и стебель – соцветие [65, 73, 121].

Значительное воздействие на растения может оказывать и поступление тяжелых металлов через листья из загрязненных металлами атмосферных осадков. [173]. Поглощение некоторых тяжелых металлов листьями при значительной близости промышленных предприятий может иногда превышать их корневое поступление в растения [93, 103]. Механизм поглощения ионов тяжелых металлов листьями состоит из двух фаз: неметаболического проникновения через кутикулу (которое рассматривается как главный путь поступления) и метаболического переноса ионов через плазматические мембраны и протопласт клеток, т.е. их накопление против градиента концентрации [175]. Ионы металлов поступают в лист в основном через устьица или кутикулу и транспортируются в корни и выше расположенные органы [98, 157, 171, 188].

Доля внекорневого поступления тяжелых металлов в растения зависит от концентрации металла в воздухе и осадках, анатомо-морфологических особенностей листьев растений и других факторов [176].

Способность листьев поглощать тяжелые металлы зависит также от их анатомических особенностей. В частности, чем сильнее опушенность или шероховатость листьев, тем интенсивнее поступают в них металлы из воздуха [168]. Существующие различия между растениями по поглощению тяжелых металлов листьями в значительной степени определяются видовыми особенностями строения и биохимического состава кутикулы и эпидермы [182].

Точно определить конкретный вклад корневого и листового поглощения в повышение содержания тяжелых металлов в растительных тканях довольно

трудно, так как прямой зависимости между их концентрацией в окружающей среде и в растениях, как правило, не существует.

В целом поступление тяжелых металлов в растения представляет собой сложный и комплексный процесс, зависящий от многих факторов: почвенных, экологических, биологических. Возможность поглощения металлов двумя путями (через корни и листья) повышает их содержание в растениях, усиливая тем самым опасность загрязнения как для самого растения, так и для других живых организмов, включая человека [130].

Все растения по способности аккумулировать тяжелые металлы можно разделить на три группы:

1) аккумуляторы, накапливающие металлы главным образом в надземных органах как при низком, так и высоком содержании их в почве;

2) индикаторы, в которых концентрация металла отражает его содержание в окружающей среде;

3) исключители, у которых поступление металлов в побеги ограничено, несмотря на их высокую концентрацию в окружающей среде и накопление в корнях [155, 156].

Факторы, влияющие на аккумуляцию ТМ растениями.

1. Растения, относящиеся к разным семействам, различаются по способности накапливать тяжелые металлы. В зависимости от вида растений содержание в них тяжелых металлов может изменяться во много раз (до 100 и более) [106].

При выращивании овощных культур на загрязненных кадмием почвах концентрация металла в листьях салата, шпината, сельдерея и капусты оказалась выше, чем в листьях томата, кукурузы, бобов и гороха [163]. Выявлены существенные различия в содержании кадмия во всех органах (в том числе в клубнях) двух сортов картофеля [164].

2. Фазы развития, т.е. возраст растений [88].

3. Погодные условия и сезон года.

Рассматривая характер распределения тяжелых металлов по органам и тканям в большинстве случаев, он не зависит от эдафических и сезонных факторов

и определяется главным образом свойствами металлов и видовыми особенностями растений [158, 190]. По мнению некоторых авторов, распределение тяжелых металлов в растении в большей степени определяется их генотипом [166].

Некоторые исследователи [186] группируют тяжелые металлы по накоплению в органах растений следующим образом:

1) Cd, Fe, Cu, Co, Mo, Pb, Sn, Ti, Ag, Cr, Zr, V – уровень аккумуляции в корнях высокий, а в побегах – средний и низкий, соответственно;

2) Zn, Mn, Ni – уровень накопления в корнях и в побегах средний.

Виды растений, а также сорта могут заметно различаться по распределению тяжелых металлов по органам, что связано с особенностями поглощения ионов металлов корнями и их перемещения из корней в побеги [166, 169, 172].

По содержанию тяжелых металлов в органах растений образуется следующий ряд (по убыванию): корень > стебель > листья > плоды или семена [67].

Такой порядок для разных видов может варьировать [74, 135]. Устойчивые к тяжелым металлам виды растений накапливают их в корнях (исключители) или побегах (аккумуляторы).

Стоит отметить, что способность корней задерживать тяжелые металлы снижает их транспорт в надземные органы растений [187].

По накоплению тяжелых металлов в овощных культурах А. П. Карпова, П. А. Салмина, В. С. Шевченко (1996) располагают их в следующем порядке:

цинк: укроп > картофель > свекла > лук > морковь;

медь: укроп > лук, свекла > морковь > картофель;

кадмий и свинец: укроп > лук, свекла > картофель > морковь.

Овощные агрофитоценозы в условиях техногенного загрязнения требуют особого внимания, поскольку выращиваемая в них продукция непосредственно используется для приготовления пищи. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о высокой концентрации тяжелых металлов в овощах, выращенных в загрязненных районах. Большой интерес представляет обсуждение в литературных источниках уровня содержания тяжелых металлов в овощных растениях и картофеле [17, 105].

Устойчивость растений к тяжелым металлам рассматривают как способность переносить их действие в повышенных, токсичных концентрациях [51, 177, 178, 182].

В ответ на возрастание уровня тяжелых металлов в окружающей среде в растениях реализуется несколько различных защитно-приспособительных программ, направленных на их адаптацию и выживание. Принципиально устойчивость растений к тяжелым металлам может достигаться двумя основными путями:

1) предотвращением (ограничением) проникновения тяжелых металлов в клетку, в результате чего растение избегает их токсического действия на внутриклеточные процессы;

2) запуском внутриклеточных механизмов устойчивости.

Способность растительных организмов адаптироваться к воздействию тяжелых металлов без нарушения физиологических функций связана с определенными изменениями, происходящими на разных уровнях организации: молекулярном, клеточном, тканевом, органном и организменном. Наиболее изученными являются клеточные и молекулярные механизмы металлоустойчивости [143, 170, 175].

К механизмам устойчивости растений к действию тяжелых металлов могут быть отнесены:

1) иммобилизация (связывание) металлов компонентами клеточных стенок;

2) транспорт и аккумуляция металлов в вакуоли в виде нерастворимых комплексов с органическими кислотами;

3) связывание металлов хелаторами в ксилемном соке;

4) снижение транспорта металлов из корней в побеги;

5) повышение активности антиоксидантных ферментов, которые нейтрализуют свободные радикалы и пероксиды, образовавшиеся в результате окислительного стресса;

6) синтез пролина и полиаминов;

7) выведение металла в корневую слизь; изменение состава клеточной стенки;

8) изменение баланса фитогормонов, в первую очередь АБК и этилена;

9) синтез металлотионеинов, фитохелатинов и др. [119].

Все эти изменения являются составляющими общей картины, наблюдаемой в растениях в ответ на действие тяжелых металлов.

Для растений характерно существование достаточно большого числа разнообразных специфических и неспецифических систем и механизмов защиты и детоксикации, позволяющих им расти и развиваться в условиях избытка тяжелых металлов в окружающей среде. Все эти механизмы и изменения в метаболизме призваны обеспечить поддержание клеточного гомеостаза и повышение устойчивости. Эффективность специфических механизмов наряду с другими физиолого-биохимическими изменениями определяет устойчивость растений. Однако каждый из специфических и неспецифических механизмов, взятый в отдельности, судя по всему, во многих случаях не способен полностью обеспечить необходимый уровень устойчивости растений, и лишь одновременное функционирование различных механизмов, взаимодополняющих друг друга, позволяет растениям переносить воздействие тяжелых металлов в достаточно высоких концентрациях [130].

#### **1.4. Лук репчатый: онтогенез, продуктивность, реакция на агротехнические приемы**

Культивирование (выращивание) лука репчатого было известно уже за четыре тысячи лет до н.э. [37]. В Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации на 2023 год внесено 420 сортов лука репчатого [49]. Биологические особенности лука репчатого обеспечили этой культуре распространение в самых широких географических пределах с применением разнообразной агротехники и способов выращивания [17, 21, 23, 24, 33, 36, 47, 48, 144, 148].

Лук репчатый занимает одно из ведущих мест среди овощных культур как по посевным площадям, так и по валовым сборам. Общая сумма площадей посевов лука занимает 180 млн га. На долю Российской Федерации приходится 2,2 % от этого числа. Основное производство лука в Российской Федерации расположено в трех округах: Центральном, Приволжском и Южном. В них сосредоточено более 80 % всей посевной площади этой культуры [61, 63, 71, 94]. Содержание в луке химических и биологически активных веществ весьма разнообразно. В химический состав луковицы входит 7 незаменимых аминокислот. Лук содержит никотиновую кислоту, витамин С, сложные сахара, а зеленые листья - большое количество минеральных солей [1, 2, 3, 57, 58, 69, 80, 141].

Лук репчатый – холодостойкая культура, семена прорастают при температуре 5-6 °С. Всходы переносят пониженные температуры и заморозки [81], но в фазе петельки они могут погибнуть и при температуре минус 2-3°. Оптимальная температура для роста листьев – 12-25°, они могут переносить заморозки до минус 7°С и жару свыше 35° [34, 138].

В первый период роста и развития растений лук требователен к влаге, а на поздних фазах – избыток ее задерживает созревание луковиц. Для выращивания лука необходимы плодородные почвы с нейтральной реакцией. Агротехника лука репчатого различается в зависимости от способа его разведения.

Выращивается лук репчатый тремя способами: в двухлетней культуре с предварительным выращиванием севка, в однолетней культуре – из семян или рассады. Наиболее распространенный способ в приусадебных хозяйствах – выращивание репчатого лука через севок. Для получения хорошего урожая лука-репки из севка большое значение имеет размер посадочного материала и соблюдение агротехники выращивания [81].

Лук репчатый – многолетнее травянистое растение, в культуре выращиваемое как однолетнее, двулетнее или многолетнее [120].

В первый год жизни формирует луковицу, в которой накапливаются пластические вещества, на второй год из луковицы развивается цветущее растение,

дающее семена. В условиях Нечерноземной зоны семена лука, как правило, получают лишь на третий год. В первый год из семян выращивают мелкую луковичку диаметром 1-3 см – лук-севок, на второй год из севка получают крупные луковицы, на третий год из этих луковиц развивается семенное растение с цветоносами-стрелками, которые оканчиваются соцветиями, позднее в них образуются семена. В северных районах страны распространена вегетативно размножаемая культура лука, т. е. лук-репку выращивают из мелких луковиц [34].

В зависимости от почвенно-климатических условий, сорта и назначения использования, лук репчатый выращивают в однолетней культуре (яровой и озимой) путем посева семян в грунт и высадкой рассады, а также в двухлетней культуре из севка [134, 142].

В настоящее время в основных лукопроизводящих регионах России (Южный, Приволжский, Центральный) и в большинстве стран мира лук репчатый для длительного хранения выращивают в однолетней яровой культуре из семян [38].

Все съедобные виды лука, характеризуются тем, что жизненный цикл (онтогенез) у них проходит за 2 вегетационных периода.

Двухлетние виды лука по циклу развития проходят следующие фенологические фазы: 1) прорастание семян – появление всходов; 2) появление настоящих листьев – рост корней; 3) разрастание листовой массы – дальнейший рост корней; 4) формирование луковицы; 5) образование соцветия; 6) цветение; 7) плодородное образование и созревание семян.

Всходы имеют вид петельки, которая образована семядолей и подсемядольным коленом. Через три-четыре дня, благодаря росту подсемядольного колена и создающемуся при этом натяжению, семядольный лист выходит на поверхность почвы вместе с оболочкой семени. Если в этот период почва покрыта коркой, натяжения оказывается недостаточно. В таком случае вверх выносятся нижняя часть растения – корешок. Такие растения погибают.

В первое время растения лука растут и развиваются очень медленно. В этот период они особенно требовательны к условиям произрастания, им необходимо достаточное количество влаги, питательных веществ и света. Первый настоящий

лист у растений образуется через семь-восемь дней после появления всходов, последующие через каждые пять-семь дней. С появлением первого настоящего листа семядольный лист отмирает, посевы в это время выглядят пожелтевшими. При неблагоприятных условиях (засуха, недостаток питательных веществ в почве, образование корки на поверхности почвы) рост листьев прекращается и начинается их формирование. Необходимо помнить, что мелкая луковица у лукового растения может образоваться при наличии двух-трех настоящих листьев, затем растение впадает в состояние покоя. Такое явление у лука имеет необратимый характер. Если у растения прекратилось листообразование и началось формирование луковицы, остановить его невозможно никакими агротехническими приемами. Поэтому нарушение агротехники, особенно в первые 70-80 дней роста, может привести к большим потерям урожая [34, 140].

Ассимиляционный аппарат лукового растения в 1,5-2 раза меньше, чем у моркови, корневая система которой охватывает в 2 раза больший объем почвы и уходит в глубину в 4-5 раз дальше, чем у лука. Поэтому слабое разветвление корней лука и неглубокое их проникновение требуют, чтобы питательные вещества в период роста растений находились в зоне расположения основной массы корней в удобоусвояемой форме.

Для формирования крупной луковицы растение должно иметь определенное количество листьев. В зависимости от сорта, условий и зоны выращивания растение лука образует от 4 до 30 листьев. В условиях длинного дня и высокой температуры пластические вещества из зеленой ассимилирующей части листьев поступают в нижнюю часть - влагалища, которые в дальнейшем образуют луковицу. На процесс формирования листьев и начало оттока пластических веществ в луковицу большое влияние, наряду с другими факторами, оказывает свет.

Недостаток света тормозит формирование луковицы. Заращение посевов лука сорняками, особенно в первый период роста, замедляет развитие растений. В результате луковицы или совсем не образуются, или большое количество их оказывается невызревшими, с толстой шейкой, непригодными для хранения [34].

Интенсификация производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях, возможна на основе усовершенствования всего технологического комплекса и, в первую очередь, оптимизация режима орошения и минерального питания. Применение расчетных доз минеральных удобрений в условиях регулярного капельного орошения и соблюдение всего комплекса агротехнических мероприятий позволяют, получать стабильный урожай, отвечающий требованиям биологическим возможностям культуры, обеспечить высокое качество луковиц.

Регулирование пищевого, водного и связанного с ними теплового и воздушного режимов почвы позволяет управлять развитием растений независимо от погодных условий и, следовательно, добиваться получения гарантированного и высокого урожая.

Урожайность лука репчатого, как и других видов луковых, зависит от правильного выбора сортов и гибридов, места для его выращивания, определения оптимальных сроков посева и уборки, способа хранения, предпосевной подготовки и схемы размещения посевного материала, доз внесения органических и минеральных удобрений, ухода за растениями [62, 84, 87, 90, 91].

Уровень продуктивности лука в основных лукосеющих странах мира составляет более 50 т/га. В России средняя урожайность лука репчатого значительно ниже, чуть более 20 т/га [70].

Урожайность лука репчатого в России в 2022 году составила 31,3 т/га, что на 5,7% больше по сравнению с показателем предыдущего года [25].

При интенсивных технологиях выращивания лука репчатого, когда размер и качество получаемого урожая напрямую зависят от точности поддержания влажности почвы и режима питания растений, эффективным является применение капельного орошения, по имеющимся литературным данным прибавка урожая при капельном орошении в сравнении с дождеванием составляет 50-80 %. Экономия трудозатрат на единицу площади при возделывания конкретной овощной культуры, по сравнению с методом дождевания, составляет 60-65%, а эконо-

мия поливной воды – 40-45%. Возможность обеспечить подачу удобрений, ростовых веществ с поливной водой позволяет оптимизировать пищевой режим растений с учетом их потребности в различные фазы роста и развития, при этом количество вносимых минеральных удобрений сокращается на 50% [102].

Лук предъявляет высокие требования к наличию питательных веществ и влаги в почве из-за плохо развитой корневой системы. Поэтому для получения высоких урожаев особое значение имеет применение ресурсоэффективных элементов технологий [72, 85, 100].

В формировании урожайности лука репчатого важную роль играют средства защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней, а также применение расчетных доз минеральных удобрений и биопрепаратов, которые следует применять с учетом потребности растений к конкретным почвенно-климатическим условиям места культивирования сортов лука репчатого. При изменении доз вносимых минеральных удобрений необходимо учитывать планируемый урожай, содержание питательных веществ в почве, для чего весной необходимо определить содержание в почве элементов питания в доступных формах. Превышение оптимальных доз минеральных удобрений вызывает снижение урожайности луковиц и концентрации энергии в растениях [102].

Согласно проведенным исследованиям по изучению водного режима орошения и пищевого питания лука репчатого на орошаемом участке [124] было установлено, что на урожайность лука оказывает влияние целый ряд факторов: выбранный сорт или гибрид репчатого лука [20], его адаптированность к климатическим условиям региона возделывания, биологический потенциал растений лука, гидротермические условия [125], изначальный химический состав почв, плотность почвы, влажность почвы, предшествующая сельскохозяйственная культура в севообороте, способ орошения, способы обработки почвы, меры борьбы с вредителями и болезнями растений лука [123, 125].

Требование растений лука репчатого к почвенной влаге, кроме особенностей развития корневой системы, определяется активной транспирацией воды в период наибольшего развития вегетативной части растений [47, 101].

Для получения хороших урожаев необходимо поддерживать высокий процент влажности почвы, т. к. лук является влаголюбивым растением. Зачастую лук могут выращивать и в засушливых районах, которые сталкиваются с вопросом о трудности проведения орошения. Влажность почвы в массе корней должна равняться 80 %, а при формировании луковицы – 70 % НВ. Но не стоит забывать, что при всех своих плюсах орошение в зависимости от способа проведения может иметь свои недостатки, например, разрушение и деградацию структуры почвы, образование корки (ухудшается воздушный и пищевой режимы), смывы и размывы почвы [94].

Потребность репчатого лука в воде в полтора раза выше, чем у картофеля и существенно больше, чем у таких культур, как томаты, столовая свекла или морковь [12]. По данным исследований некоторых авторов на формирование одного центнера урожая луковиц затрачивается от 5 до 7 кубометров воды. Поскольку репчатый лук мелкосемянная культура, которая остро нуждается в дополнительной влаге для начала прорастания семени своевременное водообеспечение посевов лука наиболее важно после посева [13, 82]. Критическим по отношению к доступности почвенной влаги считается период формирования корневой системы – первые 3-4 недели развития лука после всходов. Стоит отметить, что в период активного роста вегетативной части и формирования луковицы высокая требовательность лука к наличию доступной растениям почвенной влаги сохраняется из-за активного расхода воды на транспирацию. Наиболее актуально это для южных регионов России, где среднесуточное водопотребление лука репчатого может достигать 50-60 м<sup>3</sup> /га и более [13]. Относительной устойчивостью репчатого лука к дефициту почвенной влаги характеризуется только периоды активного роста и созревания луковицы. При этом следует учитывать, что чрезмерно высокая влажность воздуха, особенно в совокупности с жарким климатом, способны провоцировать развитие грибковых болезней. Оптимальные значения влажности воздуха лежат в диапазоне от 60 до 70 % [93]. На основании выше изложенного можно отметить, что репчатый лук является достаточно сложной в

производственном отношении культурой, которая предъявляет особые требования к большинству факторов жизни. В засушливых условиях юга России, а также в регионах рискованного земледелия, где производство репчатого лука особенно перспективно, выращивание данной культуры без орошения невозможно. При этом противоречивые требования биологии культуры к доступности почвенной влаги и влажности воздуха обуславливают особые требования к выбору способов орошения растений [47].

### **1.5. Влияние агротехнических приемов на содержание тяжелых металлов в почвах, на урожайность и качество овощной продукции**

Почва, как природное тело, обладает определенной способностью к самоочищению: поступающие в нее материалы антропогенного происхождения с течением времени разрушаются и разлагаются. При небольшом загрязнении тяжелыми металлами почва способна переводить их в малотоксичную форму, делая тем самым безопасным существование почвенной биоты и возделывание сельскохозяйственных культур [65].

Однако, несмотря на защитные свойства почвы, существуют пределы и уровни техногенного воздействия на окружающую среду, превышение которых приводит к необратимым последствиям [97].

Природные процессы самоочищения почв, загрязненных тяжелыми металлами, очень длительны и возможны только до определенного уровня содержания металлов в почве [27].

При увеличении техногенного загрязнения снижается самоочищающаяся способность почв за счет изменения структуры микробного ценоза. При этом появляются виды и группы организмов, продуцирующие токсические вещества, то есть почва сама становится источником ядов. В этом случае получение экологически чистой продукции становится проблематичным [77].

Почвы, загрязненные тяжелыми металлами (ТМ) на длительное время становятся непригодными для производства растениеводческой продукции. Высокое содержание тяжелых металлов в почве снижает продуктивность овощных культур не менее чем в течении 3-х лет [83].

Миграция тяжелых металлов в агроэкосистемах определяется рядом факторов, наибольшее значение из которых имеют почвенные условия и биологические особенности самих растений [96]. Разработка приемов, способствующих снижению содержания тяжелых металлов в растениях – одна из основных задач земледельческой науки [83].

Задачи обработки почвы под овощные растения такие же, как и при возделывании других сельскохозяйственных культур: поддержание и повышение плодородия, улучшение физических свойств почвы; заделка и смешивание с ней удобрений; подавление жизнедеятельности сорняков, возбудителей болезней и вредителей; создание благоприятных условий для прорастания семян, роста культурных растений и деятельности полезных микроорганизмов. Однако требования к качеству обработки и технике выполнения отдельных приемов в овощеводстве имеют особенности.

Корнеплодные, корневищные и клубнеплодные растения образуют продуктивные органы в земле, и их форма, а также качество зависят от рыхлости и глубины обработки почвы. Поэтому в комплекс работ по подготовке полей под овощные культуры часто вводят такие операции, как устройство гряд, гребней, поливных борозд, которые улучшают условия прорастания и жизнедеятельности корней.

Обработка почвы должна обеспечить создание глубокого плодородного пахотного слоя с оптимальным физическим строением и высокой биологической активностью почвы, улучшение его водного, пищевого и теплового режимов, заделку пожнивных остатков и удобрений, борьбу с сорной растительностью, вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, создание благоприятных почвенных условий для получения быстрых и дружных всходов культурных рас-

тений их оптимального роста, развития и получения высокого урожая. Эти задачи решаются с помощью системы агроприемов, состоящей из послеуборочного лущения, зяблевой вспашки, выравнивания, внесения основных доз минеральных и органических удобрений.

Обработка почвы под овощные культуры имеет ряд отличительных особенностей, таких как мелкосемянность, большая продолжительность периода между посевом и всходами, замедленный рост их в первый период жизни и высокая чувствительность к сорнякам, также существенные особенности в систему обработки почвы под овощные культуры вносит применение орошения. Система обработки почвы в полях севооборота включает послойное лущение с провокационными поливами после ранубираемых культур и чередование глубокой вспашки (30-33 см) с менее глубокой (25-27 см), а также обыкновенной вспашки (20-22 см) и безотвальной. Чередование глубины вспашки предохраняет почву от создания плужной подошвы. Предпосевная обработка также зависит от срока посева или посадки.

Под рано высеваемые мелкосемянные культуры в зависимости от уплотнения почвы, проводится 1-2 кратное боронование и одна предпосевная культивация на глубину 4-6 см. Под рассадные и поздно высеваемые культуры в конце апреля - начале мая, кроме боронования, необходимы минимум две культивации, одна на глубину 10-12 см, другая на глубину посева или посадки.

Отвальная обработка почвы ведёт к накоплению подвижных форм меди, цинка, что, вероятнее всего, объясняется переходом катионов этих металлов из почвенно-поглощающего комплекса в почвенный раствор в результате крошения пласта в осенне-зимне-весенний период. При безотвальной обработке почвы наблюдается увеличение валовых форм свинца, что, вероятно, объясняется его аккумуляцией в верхнем слое в виде  $PbO$  и  $Pb(OH)_2$ . Отвальная обработка также способствует увеличению химической поглотительной способности почвы по отношению к цинку. Накопление валовых форм кадмия при отвальной обработке вероятнее всего обусловлено образованием труднорастворимых гидроксидов этого металла [35].

Применение ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур предусматривает обеспечение растений в течение всего вегетационного периода оптимальными условиями роста и развития. Это позволяет наиболее полно использовать биологический потенциал сорта и обеспечить максимальную отдачу ресурсов благодаря их комплексному применению.

Существует необходимость рационального подхода к применению агротехники с учетом местных конкретных условий. Это необходимая основа дальнейшего повышения урожайности всех культур в условиях орошения.

Растения неодинаково отзываются на различные режимы орошения. Дифференцированный и повышенный режимы создают более благоприятные условия для их роста, и прирост их больше по сравнению с растениями при умеренном поливе. От климатических условий, состояния почвы, ее влажности зависят физиологические процессы питания и развития растений. В условиях недостаточной влажности орошение оказывает непосредственное влияние на урожайность [113].

Наиболее эффективным средством повышения урожайности является разработка научно обоснованного режима орошения с различной глубиной увлажнения почвы и применения минеральных удобрений [22].

Создание оптимальных условий для роста и развития лука репчатого обеспечивает максимальную реализацию генетического потенциала культуры и является основой получения стабильно высоких урожаев экологически чистой продукции. В этой ситуации в овощеводстве особенно значимы агротехнологические приемы, способствующие наиболее эффективному использованию почвенной влаги и питательных веществ [9].

Для производства экологически безопасной продукции растениеводства необходимо создание таких условий возделывания сельскохозяйственных культур, при которых поступление в культурное растение ксенобиотиков сводилось бы к допустимому минимуму или совсем не происходило.

Основой деятельности человека в современных условиях становится принцип экологической рациональности, включающий разработку и практическое использование систем, технологий и способов, обеспечивающих получение экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства. В связи с этим возникает реальная необходимость разработки стратегии регуляции уровня ТМ в системе атмосфера-почва-вода-растения-животные-человек, базирующейся на взаимосвязанных и взаимообусловленных процессах их круговорота.

Получение экологически безопасной продукции в регионах с развитой промышленностью или транспортом требует всесторонней оценки факторов формирования депо тяжелых металлов в экосистемах [86].

## 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного участка

Самарская область расположена в среднем течении реки Волги. Границы территории определяются координатами 51°45' и 54°40' северной широты и 47° 55' и 52° 35' восточной долготы. На северо-востоке область граничит с Татарстаном, на севере и западе с Ульяновской, а на юге – с Саратовской областями. Река Волга делит территорию области на две неравные части – правобережную (меньшую) и левобережную (Самарское Заволжье), занимающую 9/10 площади. Климат региона – континентальный, с ярко выраженным неустойчивым, а на южных границах недостаточным увлажнением. Средняя температура воздуха наиболее теплого месяца (июль) +19 - +22<sup>0</sup>С, самого холодного (январь) – 13,5-14,0<sup>0</sup>С. Сумма эффективных температур (выше +10) колеблется от 2200<sup>0</sup>С на севере области до 2600<sup>0</sup>С на юге.

Атмосферные осадки распределяются неравномерно как по годам, так и по отдельным периодам года. Их количество колеблется от 200 до 600 мм. При этом большая часть осадков выпадает в теплое время года. Зимой преобладают юго-западные и южные ветра, летом – западные и северо-западные. Зима длится не более 5 месяцев, характеризуется сочетанием низких температур с сильными ветрами. Наибольшая мощность снежного покрова - на западе и северо-востоке от 46 до 52 см, на юге она минимальная – до 22 см, характерно медленное накопление снега с осени и быстрое таяние его весной [110].

Рельеф представлен асимметрично построенными водоразделами с преобладанием открытых степных равнин, лежащих на высоте 75-100 м над уровнем моря с наклоном в сторону рек. Местами они пересекаются балками и лощинами. Почвенный покров области подчинен общей широтной закономерности, обусловленной постепенным изменением биохимических факторов с севера на юг. В пределах лесостепной зоны чередуются ареалы серых лесных почв, оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов. В переходной

зоне наряду с обыкновенными и типичными черноземами встречаются почвы лесного типа, выщелоченный чернозем.

В южной зоне вместе с обыкновенными, южными черноземами и темно-каштановыми почвами присутствуют солонцы. По совокупности природно-экономических условий, по особенностям климата и почв территория области делится на три зоны: Северную, Центральную и Южную (рис. 2.1.1).



Рисунок 2.1.1 – Агроклиматическое районирование Самарской области

[110]

В юго-западной части лесостепи Заволжья расположена провинция Высокого Заволжья – это Самаро-Кинельский возвышенно-равнинный район с хорошим развитием придолинных лесов. Район расположен в зоне рек Самары и Большой Кинель на площади более 6,5 тыс. км<sup>2</sup>. Северная зона занимает

25,7 % площади области. За год выпадает 350- 450 мм осадков. Среднегодовая температура воздуха равна  $+2,6-3,5^{\circ}\text{C}$ . Сумма активных температур –  $2200-2300^{\circ}\text{C}$ . Гидротермический коэффициент –  $1,0-1,1$ . Запасы продуктивной влаги весной составляют 150-200 мм. Безморозный период наиболее короткий – 132-145 дней. Преобладающие почвы – выщелоченные и типичные черноземы среднегумусовые и среднетощные глинистого и тяжелосуглинистого механического состава.

Центральная зона занимает 2,7 млн.га, или 46,3 % территории области, в том числе 1,2 млн. га пашни. Количество осадков за год равно 350-400 мм. Среднегодовая температура воздуха  $+3,2-3,6^{\circ}\text{C}$ . Сумма активных температур  $2500-2700^{\circ}\text{C}$ . Гидротермический коэффициент  $0,7-0,8$ . Запасы продуктивной влаги в почве весной составляют 125-150 мм. Продолжительность безморозного периода 144-152 дня. Преобладающие 15 почв: черноземы типичные среднегумусовые и среднетощные глинистого и тяжелосуглинистого механического состава.

Южная зона занимает около 1,5 млн. га, или 28,0% площади области, в том числе – 1,1 млн. га пашни. Среднегодовая температура воздуха равна  $+3,3- 4,1^{\circ}\text{C}$ . За год выпадает лишь 270-300 мм осадков. Сумма активных температур –  $2600-2800^{\circ}\text{C}$ . Гидротермический коэффициент –  $0,6-0,7$ . Весенние запасы почвенной влаги составляют 100-120 мм. Продолжительность безморозного периода – 148-154 дня. Преобладающие почвы: черноземы южные среднетощные, и темно-каштановые почвы [109].

Опытный участок по исследованию действия фосфогипса на посеvy лука на полях крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ), расположенного в Приволжском районе Самарской области. Приволжский район расположен в юго-западной части Самарской области. По природно-сельскохозяйственному районированию страны данная территория относится к степной зоне Заволжской провинции равнинно волнистому суглинистому обыкновенно-южно-черноземному округу низменно степному Заволжскому району. Согласно агро-

климатическому районированию Самарской области, территория района относится к III агроклиматическому району, характеризующемуся значительными колебаниями суточных и среднегодовых температур, неустойчивостью и недостатком атмосферных осадков, достатком света и тепла. Среднемесячная температура воздуха в летние месяцы + 20,8 °С, в зимние месяцы – 10,1 °С. Сумма активных температур колебалась от 2799 °С до 2945 °С. Средняя температура вегетационного периода 18,38-19,52 °С, среднее количество осадков, приходящееся на вегетационный период 32-69 мм.

## **2.2. Метеорологические условия в годы исследований**

Наряду с изучаемыми агротехническими приемами существенное влияние на развитие опытных растений и продуктивность посевов оказывали метеорологические условия зимне-весенних месяцев и вегетационного периода. Анализ метеорологических данных, ближайшей к опытному полю метеостанции (МС «Безенчукская») и наши наблюдения показывают, что в зимние месяцы январь-февраль зоне расположения опытного поля выпало достаточно много атмосферных осадков, почти три нормы, или 140,1 мм, при среднемноголетнем значении 42 мм. Достаточно влагообеспеченным был начально весенний период – март – 51 мм, что соответствовало нормальному значению. Это позволило накопить к началу полевых работ в пахотном горизонте около 150 мм продуктивной влаги и получить дружные равномерные всходы опытных растений (табл. 2.2.1). Однако в дальнейшем развитие растений проходило на фоне повышенных температур и дефицита осадков. Так практически на всем протяжении мая среднесуточная температура воздуха была почти на 7 °С больше нормы, а количество осадков составило только 9,6 мм, при норме 33 мм. Причем они практически отсутствовали в третьей декаде месяца. Складывающиеся процессы атмосферной и почвенной засухи, а как следствие этого и депрессивные процессы органогенеза растений не восполнились осадками июня, сумма которых составила 32 мм, что равно 18 % ниже нормы (рис.2.2.1).

Таблица 2.2.1 – Метеорологические условия проведения исследований,  
2021-2023 гг.

| Месяц    | Температура, 0С |       |       | Среднее | Осадки, мм |       |       | Σ за<br>месяц |
|----------|-----------------|-------|-------|---------|------------|-------|-------|---------------|
|          | I               | II    | III   |         | I          | II    | III   |               |
| 2021     |                 |       |       |         |            |       |       |               |
| Май      | 15,9            | 22,0  | 20,5  | 19,5    | 4,0        | 3,2   | 8,6   | 15,8          |
| Июнь     | 18,1            | 21,6  | 26,9  | 22,2    | 28,6       | 2,6   | 6,8   | 38,0          |
| Июль     | 23,6            | 25,2  | 24,0  | 24,3    | 2,0        | 0,4   | 15,0  | 17,4          |
| Август   | 25,1            | 25,6  | 21,3  | 24,0    | 0,0        | 0,0   | 0,8   | 0,8           |
| Сентябрь | 13,6            | 12,5  | 9,4   | 11,8    | 9,2        | 2,0   | 15,2  | 26,4          |
| 2022     |                 |       |       |         |            |       |       |               |
| Май      | 9,77            | 10,78 | 13,05 | 11,20   | 2,40       | 16,80 | 23,80 | 43,00         |
| Июнь     | 19,07           | 20,41 | 17,80 | 19,09   | 39,4       | 12,40 | 1,80  | 53,60         |
| Июль     | 19,83           | 22,07 | 21,33 | 21,08   | 20,4       | 33,20 | 48,00 | 101,60        |
| Август   | 23,07           | 20,63 | 25,62 | 23,11   | 0,00       | 0,00  | 0,00  | 0,00          |
| Сентябрь | 12,80           | 14,31 | 13,48 | 13,53   | 2,72       | 1,60  | 22,00 | 26,32         |
| 2023     |                 |       |       |         |            |       |       |               |
| Май      | 12,0            | 14,1  | 15,9  | 14,0    | 2,2        | 7,2   | 0,2   | 9,6           |
| Июнь     | 17,7            | 18,7  | 19,7  | 18,7    | 8          | 2,8   | 19,6  | 30,4          |
| Июль     | 20,4            | 20,8  | 20,9  | 20,7    | 0,6        | 10,4  | 1,4   | 12,4          |
| Август   | 20,3            | 19,1  | 17,3  | 18,9    | 0,4        | 1,2   | 12    | 13,6          |
| Сентябрь | 14,9            | 12,3  | 9,8   | 12,3    | 16,4       | 8     | 0     | 24,4          |

Развитие растений в июле проходило при теплой погоде и остром недостатке осадков, сумма которых составляла только 26,3 % от нормы, которая составляет 47 мм. Это значительно ускорило процессы генеративного развития растений и наступления физиологической и хозяйственной спелости. Жаркая и засушливая погода продолжалась и в августе. Но к этому времени опытные растения были убраны. Их уборка пришлась на конец третьей декады июля. В целом за период январь-июль в районе опытного поля выпало 249,7 мм атмосферных осадков, при норме 212 мм, что на 17,4 % больше среднееголетнего значения. Это позволило создать оптимальные запасы влаги перед посевом получить дружные всходы без применения дополнительного орошения. Однако в дальнейшем прослеживался существенный дефицит атмосферных осадков, который составил за май-июль равнялся 41,4 мм.

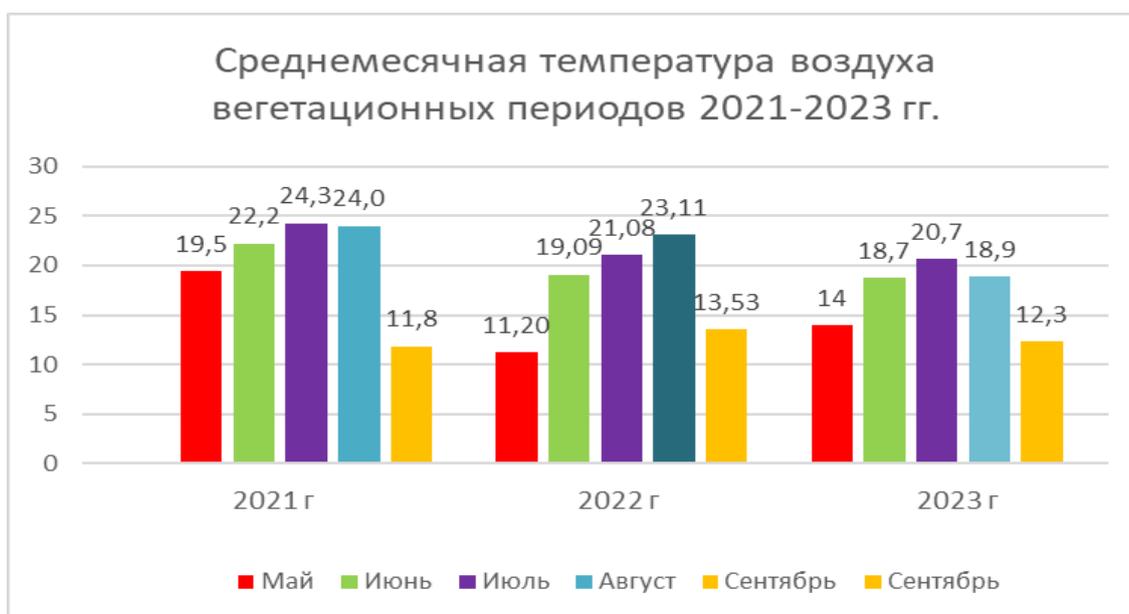


Рисунок 2.2.1 – Среднемесячная температура воздуха вегетационных периодов 2021-2023 гг.

Сумма положительных температур за вегетационный период (май-июль) составила  $2690^0$  С, при норме  $2437,5^0$  С. ГТК равнялся 0,55. Учитывая, что исследования проводились на культурах в условиях компенсации влагообеспеченности за счет орошения, можно считать их благоприятными для роста и развития. Таким образом, анализ климатических условий за вегетационный период 2023 года позволяет сделать заключение, что получение планируемых урожаев, изучаемых культур, при естественном увлажнении при сложившемся температурном режиме и атмосферном увлажнении, является весьма затруднительной проблемой, поэтому не случайно в данной агроклиматической зоне Самарской области уделяется серьезное внимание созданию оросительных систем, которые позволяют рационально использовать плодородие почв, тепловые ресурсы территории и достаточное количество ФАР солнечной энергии.

Погодные условия с января по апрель позволили накопить 35,9 мм продуктивной влаги в верхнем почвенном горизонте до посева лука.

В 2021 году в мае средняя температура равнялась 19,5°C, что выше нормы на 10-12°C, при этом погода оказалась засушливой, и за месяц выпало в 2 раза меньше осадков, чем предусмотрено климатической нормой (33 мм) (рис. 2.2.2).



Рисунок 2.2.2 – Среднемесячные осадки вегетационных периодов 2021-2023 гг.

В начале июня выпало достаточно большое количество осадков, что составило 75 % всей месячной нормы. Во 2 декаду июня наступила фаза образования 5 листа, которая проходила в достаточно жаркую и засушливую погоду: выпало всего 2,6 мм осадков, что в 5 раз ниже нормы. Конец второй-начало третьей декады июня также отмечен жарким и засушливым, температура воздуха в среднем стала на 5°C выше, чем в предыдущую декаду, а осадков выпало на 4 мм больше. На этот период пришлась фаза образования луковицы (17-21 июня) и ее дальнейший рост, начало которого отмечено на 19-23 июня. Однако, в целом за месяц выпала почти климатическая норма осадков – 38 мм, при норме 39 мм. Дальнейшее развитие лука проходило при высокой температуре и небольшом количестве осадков, которые составили треть от климатической нормы. Жаркая и засушливая погода продолжалась и августе. Температура воздуха была близка среднему показателю в июле, а осадков почти не

было: выпало 0,8 мм за месяц. Это позволило более быстрому прохождению фазы созревания и наступления технической спелости лука, которая пришлась для сорта Манас на 27 августа, а для сорта Визион – 26-27 августа. В целом, за период май-июль выпало 71,2 мм осадков при норме 119, дефицит влаги составил 47,8 мм или 40 %.

В 2022 году запасы почвенной влаги в горизонте от 0 до 20 см составили 48,2 мм, что позволило накопить к началу полевых работ в пахотном горизонте достаточное количество продуктивной влаги и получить дружные равномерные всходы опытных растений. Анализируя погодные условия, сложившиеся на опытном участке в вегетационный период 2022 года, можно отметить, что средняя температура мая была близка к климатической норме и составила 11,2°C, что на 2-4 градуса превышает среднегодовые показатели. В целом за месяц выпало большое количество осадков, что на 10 мм выше нормы. Это позволило накопить достаточное количество влаги для роста и развития лука. Июнь 2022 года отличался теплой и дождливой погодой – выпало 43 мм осадков, что выше нормы на 14 мм. Большая часть осадков (74%) пришлась на 1 декаду месяца, что позволило сформировать вегетативную массу растений. Фаза образования 5 листа наступила 17-21 июня, что пришлось на конец второй-начало третьей декады июня, где выпало соответственно 12,4 и 1,8 мм осадков, при среднесуточной температуре 17-20°C. В 3 декаду месяца наступила теплая и засушливая погода, и началась фаза образования луковицы. В конце третьей декады июня наступает фаза активного роста луковицы для сорта Визион, а для сорта Манас данная стадия пришлась на первую декаду июля, которая характеризовалась теплой погодой и достаточным количеством осадков: выпала почти половина от месячной нормы осадков.

В дальнейшем месяц также проходил при высокой температуре и обильных дождях. В целом за месяц выпало 101,6 мм осадков при норме 47 мм. Это увеличило срок созревания лука на 3-6 дней, а техническая спелость наступила на 6-10 дней по сравнению с предыдущим годом. При этом август был жарким

и засушливым, а первая декада сентября, на которую пришлась уборка лука – прохладная и засушливая.

Анализируя значения продуктивной влаги в почве по годам, можно заключить, что наибольшее количество влаги было в 2022 году, а наименьшее – в 2023. в 2021 и 2022 годах с увеличением глубины почвы в целом отмечено снижение запасов продуктивной влаги, а в 2023 году наоборот, происходит повышение влаги до глубины 60-80 см, где выявлено наибольшее значение (30,0 мм), что на 10 мм превосходит верхний горизонт (табл.2.2.2).

Таблица 2.2.2 – Запасы продуктивной влаги в почве перед посевом лука репчатого, мм, 2021-2023 гг.

| Слой почвы, см | Год исследований |       |       |
|----------------|------------------|-------|-------|
|                | 2021             | 2022  | 2023  |
| 0-20           | 35,9             | 48,2  | 20,8  |
| 20-40          | 37,8             | 43,1  | 23,9  |
| 40-60          | 24,3             | 30,6  | 20,0  |
| 60-80          | 27,3             | 25,4  | 30,0  |
| 80-100         | 14,4             | 24,9  | 26,4  |
| Сумма          | 139,7            | 172,2 | 121,1 |

Сравнивая количество влаги в почве с фенологическими наблюдениями за растениями лука репчатого можно заключить, что с увеличением влаги в почве происходит более поздний посев и появление всходов, что отражается на остальных фазах развития лука, и как следствие позже происходит созревание и уборка.

### 2.3. Схема полевого опыта и ее обоснование

Для решения поставленных задач проводилось почвенное обследование производственных плантаций лука на полях крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ), расположенного в Приволжском районе Самарской области в период с 2021 г. по 2023 г. на площади 438 га. (рис. 2.3.1).

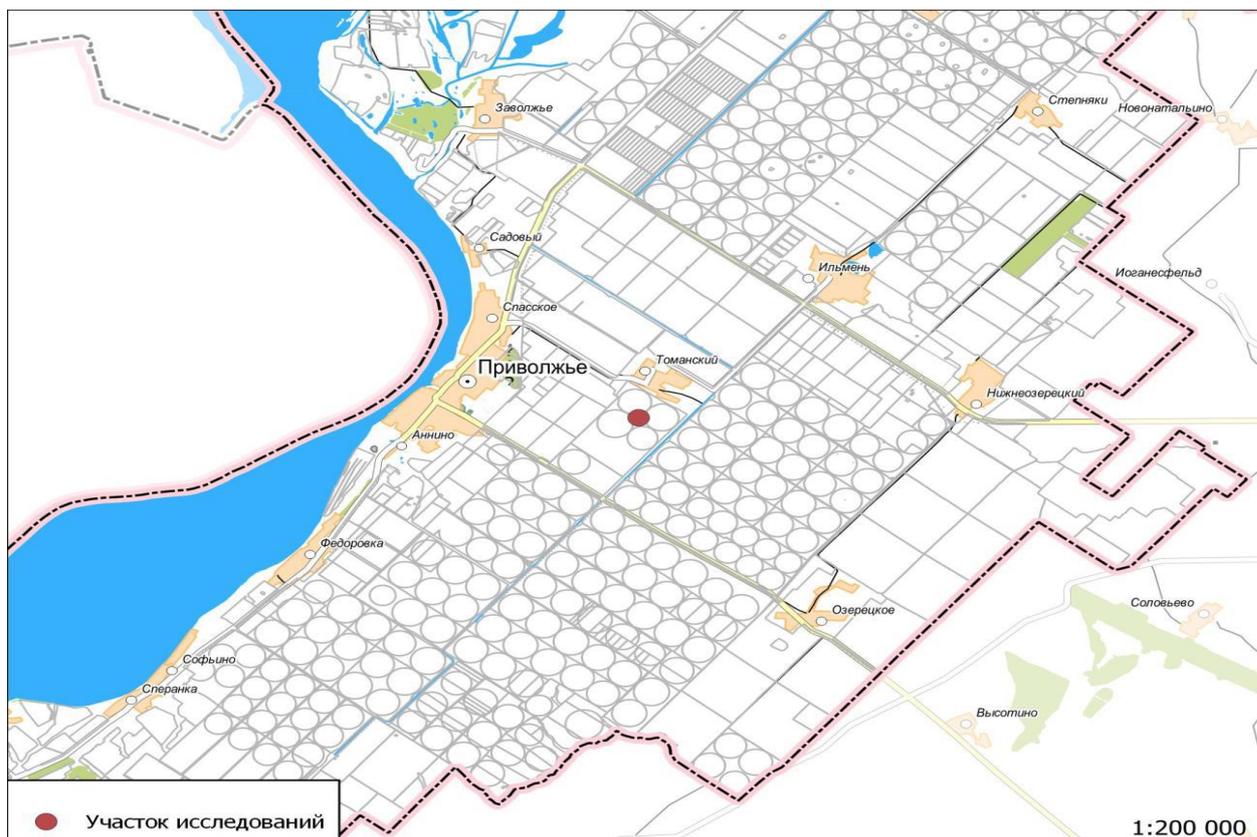


Рисунок 2.3.1 – Участок исследований на карте-схеме Приволжского района Самарской области

В 2021-2023 году было отобрано и проанализировано 108 почвенных образцов и 108 шт. луковиц. Исследованию подвергались: почва, луковицы лука 2 сортов.

Согласно списку сортов растений Госреестра по состоянию 2023 год по Средневолжскому региону допущено к использованию 68 сортов лука репчатого, из них в наши исследования были включены 2 сорта: Визион – 2010; Манас – 2008.

*Визион.* Был выведена голландскими селекционерами. Рекомендуются для выращивания на репку в однолетней культуре из семян. Среднеспелый. Луковица округлая, массой 70-90 г. Сухие чешуи темно-красные, число их 3-4, сочные - красноватые. Шейка средней толщины, одно-, двухзачатковый. Вкус полуострый. Товарная урожайность 303-468 ц/га, на 80-100 ц/га выше стандартов Янтарный 29 и Луганский. Максимальная урожайность 1005 ц/га (Ставропольский край). Вызреваемость перед уборкой 90%, после дозревания 100%.

*Манас*. Культура была выведена голландскими селекционерами. Оригинаторами выступила известная семенная компания Вежо. В России сорт был допущен к использованию в 2008 году. Луковицы гибрида имеют правильную округлую форму, диаметр 5-7 сантиметров, средней толщины шейку и массу 85-100 грамм. Представленный гибрид относится к категории позднеспелых сортов. От появления первых ростков и до наступления технической спелости проходит 114 дней. Культура высокоурожайная и способна давать 392-550 ц/га. Внешние чешуйки лука тройные, плотно прилегающие, коричневой окраски. Внутренние чешуи – зеленоватые. Листья темно-зеленой окраски, с легким налетом воска. Полуострые на вкус луковицы подходят для употребления в свежем виде, в качестве дополнения к основному меню. Используются также в кулинарии – для приготовления салатов, первых и основных блюд. Помимо этого, могут применяться для переработки: консервирования, сушки. Пищевкусовые свойства луковиц при этом продолжают оставаться также высокими.

В период с 2021 по 2023 гг. проводился эксперимент по изучению эффективности использования посевов лука по принятой технологии с применением минеральных удобрений в сочетании с фосфогипсом на аккумуляцию тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома, железа) лука.

В наших исследованиях в принятом севообороте в 2021-2023годах исследуемый участок находился в районе НСП-21 и был расположен в 5-ти польном севообороте.

Чередование культур в севообороте: 1. Чистый (черный) пар; 2. Картофель; 3. Лук репчатый; 4. Соя; 5. Соя. Учетные площадки формировались с учетом технологии посева лука, имеют форму прямоугольника со стороной 6 м или 4 гряды по 8 строчек, длиной 100 м, площадь – 600 м<sup>2</sup> (6x100). Изучение проводилось в трехкратной повторности по схеме: I-контроль; II- N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> (ФОН) + ФГ (фосфогипс) в дозе 2 т/га; III - N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> (ФОН) + ФГ в дозе 4 т/га; IV - N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> (ФОН) + ФГ в дозе 6 т/га; V - N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>

(ФОН) + ФГ в дозе 8 т/га; VI – N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> (ФОН) + ФГ в дозе 10 т/га. По краям учетных площадок устанавливали защитные полосы.

Опыты закладывались на полях севооборота под плантациями выращивания лука. В применяемом севообороте предшественником для лука репчатого в 2021-2023 годах были посеы сои.

Площадь полевого севооборота 483 га, в границах которого 12 опытных участков площадью 0,20 га. Ввиду того, что севооборот действует на орошаемом участке поливной системы «Фрегат», то каждый опытный участок привязан к максимальной площади полива при работе на одной позиции дождеваль- ной машины и имеет площадь 82,6 га. Количество полей севооборота совпа- дает с количеством лет ротации, т. е. 5 лет (рис.2.3.2).

| Поле 21- 17 S=81га                  |           | Поле 21-18S=95га                    |           |
|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 2023г                               | соя       | 2023г-                              | лук       |
| 2022г                               | лук       | 2022г                               | картофель |
| 2021г                               | картофель | 2021г                               | пар       |
| 2020г                               | пар       | 2020г                               | соя       |
| 2019г                               | соя       | 2019г                               | соя       |
| <b>2022г - опытный участок лука</b> |           | <b>2023г- опытный участок лука</b>  |           |
| Поле 21-15 S=82га                   |           | Поле 21-16 S=82га                   |           |
| 2023г                               | пар       | 2023г                               | соя       |
| 2022г                               | соя       | 2022г                               | соя       |
| 2021г                               | соя       | 2021г                               | лук       |
| 2020г                               | лук       | 2020г                               | картофель |
| 2019г                               | картофель | 2019г                               | пар       |
|                                     |           | <b>2021г - опытный участок лука</b> |           |
|                                     |           | Поле 21-14 S=98га                   |           |
|                                     |           | 2023г                               | картофель |
|                                     |           | 2022г                               | пар       |
|                                     |           | 2021г                               | соя       |
|                                     |           | 2020г                               | соя       |
|                                     |           | 2019г                               | лук       |

Рисунок 2.3.2 – Схема пятипольного севооборота с чередованием культур за одну ротацию

При формировании учетной площадки была принята схема: 8 строчек лука – контроль + N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>, 8 строчек лука – вариант с внесением ФГ в дозе 2 т/га, 8 строчек лука – вариант ФГ 4 т/га, 8 строчек лука – вариант ФГ 6 т/га, 8 строчек лука – вариант ФГ 8т/га, 8 строчек лука – вариант ФГ 10 т/га. По краям учетных площадок согласно принятой технологии посева лука между 4-мя спаренными строчками оставляется 60 см борозда которая служит в качестве защитной полосы.

В системе выращивания лука репчатого применялись препараты, вносимые при подготовке почвы, защите от болезней, сорняков и вредителей (табл. 2.3.1).

Таблица 2.3.1 – Использование препаратов при выращивании лука репчатого

| Стадия развития               | Способ внесения, техника  | Препараты                         | Расход, д.в.                       |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|
| Посев лука репчатого 8 апреля |   |                                   |                                    |
| Появление всходов             | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада апреля           | Стомп<br>Профессионал             | 2,5 л/га                           |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада мая              | Гоал                              | 0,05 л/га                          |
| Образование 5-го листа        | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада мая              | Гоал,<br>Каратэ зеон<br>Изабион   | 0,05 л/га<br>0,20 л/га<br>1,0 л/га |
|                               | Разбрасыватель навесной ZA-TS 3200, на тракторе VALTRA 3 декада мая | Сульфат аммония                   | 100 кг                             |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада мая              | Гоал<br>Боксер<br>Каратэ зеон     | 0,1 л/га<br>1,0 л/га<br>0,4 л/га   |
| Образование луковицы          | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 1 декада июня             | Моноаммоний<br>Изабион            | 1,9 л/га<br>1,0 л/га               |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 1 декада июня             | Гоал<br>Нитрат Са<br>Изабион      | 0,1 л/га<br>2,0 л/га<br>0,2 л/га   |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 1 декада июня             | Моноаммоний<br>Изабион<br>Фюзилад | 1,9 л/га<br>0,2 л/га<br>1,0 л/га   |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 2 декада июня             | Гоал<br>Боксер                    | 0,15 л/га<br>1,0 л/га              |

| Стадия развития               | Способ внесения, техника  | Препараты  | Расход, д.в.                                    |
|-------------------------------|---|--|---|
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 2 декада июня             | Ридомил<br>Компо<br>Хакафос<br>Изабион<br>Каратэ       |   |
|                               | Разбрасыватель навесной ZA-TS 3200 на тракторе VALTRA 2 декада июня | Сульфат аммония  | 150 кг/га                                       |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада июня             | Боксер<br>Гоал   | 0,15 л/га<br>1,0 л/га                           |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 3 декада июня             | Квадрис<br>Изабион<br>Тренер<br>КомпоКаратэ<br>зеон    | 1,0 л/га<br>0,20 л/га<br>1,0 л/га<br>0,20 л/га  |
|                               | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 1 декада июля             | Курзат   | 2,05 л/га                                       |
| Формирование луковиц 7 июля   | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892, 1 декада июля             | НРК6:14:35<br>Изабион<br>Ланнат                        | 3,8 л/га<br>0,50 л/га<br>0,90 л/га              |
| Начало активного роста лука   | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892 2 декада июля              | Фонданго<br>Мовенто<br>энержи<br>НРК 12:8:31<br>Биотон | 1,0 л/га<br>0,60 л/га<br>3,80 л/га<br>0,10 л/га |
| Начало созревания луковицы    | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892 3 декада июля              | Сингум<br>Каратэ зеон                                  | 1,0 л/га<br>0,40 л/га                           |
| Техническая спелость луковицы | Опрыскивание UG-3000 на тракторе МТЗ-892 1 декада августа           | Фонданго<br>Консенто                                   | 1,0 л/га<br>2,0 л/га                            |

Стомп Профессионал – гербицид избирательного действия, однокомпонентный селективный почвенный гербицид, предназначенный для борьбы с однолетними двудольными и злаковыми сорняками в посевах подсолнечника, посевах капусты, моркови, лука. Идеальный партнер в баковых смесях для широкого спектра гербицидов и инсектицидов.

Гоал – гербицид избирательного действия для защиты лука и чеснока от однолетних двудольных сорняков. Уничтожает амброзию, марь, горцы, крестоцветные и многие другие двудольные сорняки

Каратэ зеон – пиретроидный инсектицид, предназначен для защиты зерновых, технических, овощных, плодовых и других культур от комплекса листогрызущих и сосущих вредителей, включая клещей.

Боксер – высокоэффективный селективный гербицид для довсходового и раннего послевсходового подавления широкого спектра однолетних злаковых и широколистных двудольных сорняков на картофеле, луке, моркови. Препарат почвенного действия, поэтому эффективен против сорняков, находящихся в период опрыскивания в фазе прорастания. Период защитного действия в зависимости от погодных условий и видового состава сорняков достигает 50 дней.

Квадрис – является высокоэффективным фунгицидом, направленным именно на борьбу с грибковыми заболеваниями. Конкретно для борьбы с вредителями он не предназначен. Если на растениях появились паразиты, лучше подыскать подходящее средство инсектицидной направленности.

Изабион – биологическое удобрение последнего поколения, биостимулятор роста растений

До появления всходов проводили обработку гербицидом Стомп Професионал, по всходам гербицидом Гоал 0,05+Каратэ зеон 0,2+ Изабион 1,0. 20 июня провели междурядную обработку и обработку препаратами Боксер +Гоал, через 4 дня Квадри+Изабион (Тренер) +Компо+Каратэ зеон. Скосили ботву и выкопали лук, через 6 дней убрали овощным комбайном Grimme и перевезли до сортировки. После сортировки лук был заложен на хранение.

Для производимых операций использовали универсальный пропашной колесный трактор МТЗ-82 и полевой опрыскиватель AMAZONEUG-3000, предназначенный исключительно для сельскохозяйственного применения методом поверхностного опрыскивания с использованием воздушного потока,

предназначенный для работы со всеми разрешенными в сельском хозяйстве растворами, эмульсиями и суспензиями.

Места закладки учетных площадок по годам показаны на рисунке 2.3.3. Расстояние между гребнями 60 см, высота гребня 18-20 см.

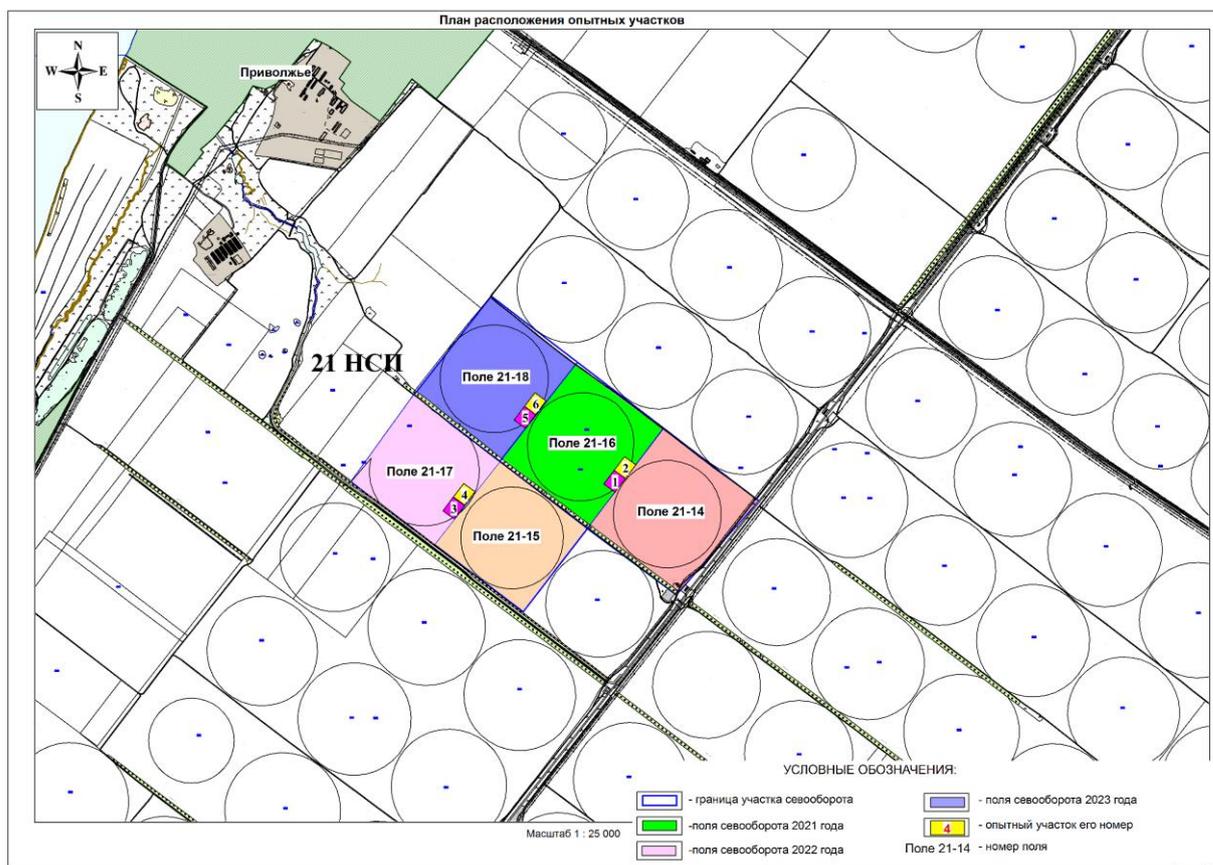


Рис. 2.3.3 – Карта-схема расположение учетных площадок, 2021 (1,2), 2022 (3,4), 2023 (5,6).

Расчет площадей под опытные делянки 2-х сортов лука произведен с учетом параметров посева лука и составляют: общая площадь – 4020 м<sup>2</sup>, из них вариант с внесением фосфогипса – 3000 м<sup>2</sup> (6x5x100); контроль – 600 м<sup>2</sup> (6x100); междурядья (защитные полосы) – 420 м<sup>2</sup> (7x0,6x100) Расстояние между гребнями 60 см, высота гребня 18-20 см (рис. 2.3.4).

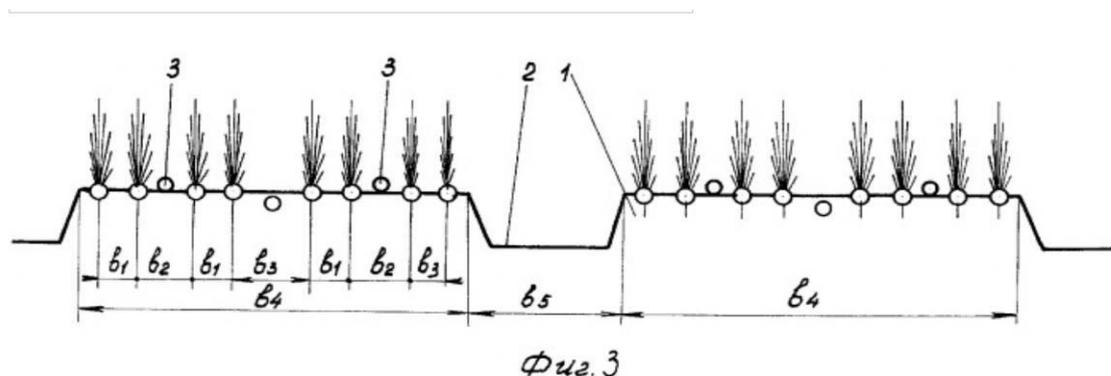


Рисунок 2.3.4 – Схема посева плантации лука

Условные обозначения в схеме посева лука:

1 – гребень, ширина 100м (B4);

2 – борозда, ширина 60см (B5);

3 – междурядное расстояние 17см (B2);

B1 – междурядное расстояние 7см;

B3 – разрыв между 2-х спаренных строчек 18см.

В августе-сентябре 2021-2023 гг. было проведено исследование агрохимического состояния почвенного покрова земельных участков, отведенных под плантацией лука в условиях орошения.

Всего за период 2021-2023 гг. отобрано 108 образцов почвенных проб, которые распределились по годам: 2021 г – 36 образцов, 2022 г – 36 образцов, 2023 г – 36 образцов.

На основе полученных результатов выведены средние значения показателей агрохимического состояния почвенного покрова по годам и вариантам опыта. Данное разделение вызвано тем, что прослеживается различная динамика изменения в агрохимических показателях при равных условиях их использования в сельскохозяйственном производстве.

Данные почвенные разновидности находятся в 1-м севообороте, с чередованием культур на орошаемых землях. Орошение производится дождеваль-ной машиной «Фрегат» ДМУ – Б488-90. Севооборот состоит из 5-ти рабочих участков. За 5-ти летний период или 1 ротацию проводимых нами исследова-

ний отбор проб на общей площади 438,0 га. Предшественником лука в севооборотах 2021-2023 гг. была соя, это важно т.к. на содержание гумуса могут оказать влияние пожнивные остатки.

Минеральные удобрения под лук вносились до посадки разбросным способом. Полная доза калийных удобрений (KCL 60 %) вносилась в дозе 300 кг/га в период конце с конца декабря – начала января под нарезку гребней в один приём с заделкой в почву на глубину 5см навесным Rauch MDS 935 на тракторе Д/Д 6920, Д/Д 6130. Весной за 1 день до посадки, производилось внесение аммофоса  $N_{12}P_{52}$  в дозе 100кг/га, на стадии 5 листов разбросным методом вносили 150кг/га, затем через 10-15 дней перед окучиванием производили подкормку азотным удобрением сульфатом аммония –  $N_{21}S_{24}$ .

#### **2.4. Фенологические наблюдения вегетационного периода лука репчатого**

Данные фенологических наблюдений показали, что посев лука на всех вариантах опыта в 2021 г производился одновременно в третьей декаде апреля, что является оптимальным агротехническим сроком. Развитие растений изучаемых сортов происходило в разные сроки (табл. 2.4.1, 2.4.2). Фаза всходов в нашем опыте по возделыванию лука сорта Манас в условиях южной агроэкологической зоны Самарской области наступила одновременно на 10 день после посева – 22 апреля.

Особых различий в посевах не отмечалось нами и в фазу образования 5-го листа, которая наступила во всех вариантах опыта 12 июня, или на 51 день после появления всходов.

Дальнейшие фенологические наблюдения показали, что различия между вариантами опыта начинают прослеживаться в фазу образования луковицы. Наиболее быстро (через 5 дней после появления 5-го листа) к этой фазе подошли растения на контрольном и фоновом варианте, а также при внесении 2-6 т/га фосфогипса – 17 июня. Увеличение дозы ФГ до 8 и 10 т/га привело к

небольшой задержке образования луковицы на 2 дня по сравнению с контролем, и пришлось календарно на 19 июня. Можно предположить, что на данном этапе развития растений уже оказывает влияние мелиорант в виде дополнительного источника фосфора и микроэлементов, что способствует повышению длительности фотосинтетических процессов и синтеза органического вещества.

Начало созревания луковицы наступает практически одновременно на всех вариантах опыта. Наблюдалась небольшая задержка данной фазы на 1 день по сравнению с контролем на вариантах ФОН + ФГ в дозах 8 и 10 т/га.

Фаза технической спелости луковицы на всех вариантах опыта начинается одновременно 27 августа или через 127 дней после всходов.

Фенологические наблюдения за развитием растений лука сорта Манас показали, что в сложившихся погодных условиях 2022 года всходы появляются 02 мая на всех вариантах опытов, а образование 5-го листа – через 50 дней (21 июня). Фаза образования луковицы наступает на 55-59 день с момента появления всходов. Наиболее поздно (30 июня) образуются луковицы на вариантах опыта ФОН + ФГ 8-10 т/га, что на 4 дня позже контрольного и фонового вариантов.

Начало активного роста луковиц наступает практически одновременно на всех вариантах опыта с задержкой в 1 день относительно контроля при внесении 8 и 10 т/га фосфогипса.

Фаза начала созревания луковиц отмечена в один день – 20 августа или на 110 день от фазы всходов. Однако, техническая спелость лука при внесении 8 и 10 т/га фосфогипса совместно с фоновым удобрением наступает на 2 дня позже контроля и фона, что соответствует 129 дню от появления всходов. Тогда как на контрольном, фоновом варианте и с применением ФГ в нормах 2 и 4 т/га техническая спелость наступает 6 сентября или на 127 день после всходов.

В целом за 2022 год можно отметить отставание развития фенофаз от 2021 года в среднем на 10 дней, что, вероятно, было связано с погодными условиями, сложившимися в 2022 году.

Аналогичные закономерности выявлены и в 2023 году: Фазы всходов и образования 5-го листа происходили одновременно на всех вариантах опыта. Разница в фенологических показателях начинала проявляться с фазы образования луковицы, которая наступала на 2-3 дня позже контроля и фона на вариантах с применением ФГ в нормах 8 и 10 т/га, а начало активного роста луковицы на 1-2 дня позже контроля. Начало созревания и техническая спелость луковицы отмечались у всех вариантов опыта в один день – 18 августа и 5 сентября, соответственно. Длина вегетационного периода составляла 131 день.

Таким образом, анализируя данные наших наблюдений, можно заключить, что фаза всходов и образования 5-го листа у растений лука сорта Манас наступает одновременно, независимо от нормы внесения фосфогипса. Действие мелиоранта начинает проявляться в фазу образования луковицы. На вариантах с повышенной дозой фосфогипса (8 и 10 т/га) на фоне удобрений начало образования луковицы отстает от контроля и фона на 2-4 дня, активный рост луковицы – на 1-2 дня, созревание – до 1 дня. Техническая спелость наступала одновременно, за исключением 2022 года, когда растения лука на вариантах с внесением 8 и 10 т/га фосфогипса созревали на 2 дня позже остальных вариантов опыта. В 2021 году в нашем опыте фаза всходов по возделыванию лука сорта Визион в условиях южной агроэкологической зоны Самарской области наступила одновременно на десятый день после посева – 25 апреля.

Таблица 2.4.1 – Даты прохождения этапов органогенеза растений лука репчатого сорта Манас

| № п/п    | Вариант опыта                                      | Всходы | Образование 5-го листа | Образование луковицы | Начало активного роста луковицы | Начало созревания луковицы | Техническая спелость луковицы |
|----------|--|--------|------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 2021 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 22.04  | 12.06                  | 17.06                | 19.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 22.04  | 12.06                  | 17.06                | 19.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 22.04  | 12.06                  | 17.06                | 19.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 22.04  | 12.06                  | 17.06                | 19.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 22.04  | 12.06                  | 17.06                | 19.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 22.04  | 12.06                  | 19.06                | 21.06                           | 15.08                      | 27.08                         |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 22.04  | 12.06                  | 19.06                | 21.06                           | 15.08                      | 27.08                         |
| 2022 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 2.05   | 21.06                  | 26.06                | 1.07                            | 20.08                      | 6.09                          |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 2.05   | 21.06                  | 26.06                | 1.07                            | 20.08                      | 6.09                          |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 2.05   | 21.06                  | 26.06                | 1.07                            | 20.08                      | 6.09                          |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 2.05   | 21.06                  | 26.06                | 1.07                            | 20.08                      | 6.09                          |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 2.05   | 21.06                  | 26.06                | 1.07                            | 20.08                      | 6.09                          |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 2.05   | 21.06                  | 30.06                | 2.07                            | 20.08                      | 8.09                          |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 2.05   | 21.06                  | 30.06                | 2.07                            | 20.08                      | 8.09                          |
| 2023 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 27.04  | 18.06                  | 25.06                | 28.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 27.04  | 18.06                  | 25.06                | 28.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 27.04  | 18.06                  | 25.06                | 28.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 27.04  | 18.06                  | 25.06                | 28.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 27.04  | 18.06                  | 25.06                | 28.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 27.04  | 18.06                  | 28.06                | 29.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 27.04  | 18.06                  | 27.06                | 30.06                           | 18.08                      | 5.09                          |

Особых различий в посевах в фазу образования 5-го листа не отмечалось, она наступила во всех вариантах опыта 14 мая, или на 19 день после появления всходов.

Дальнейшие фенологические наблюдения показали, что различия между вариантами опыта начинают прослеживаться с фазы образования луковицы. Наиболее быстро (18 июня) к этой фазе подошли растения на контрольном и фоновом варианте, а также при внесении 2-6 т/га фосфогипса. Увеличение дозы ФГ до 8 и 10 т/га привело к небольшой задержке образования луковицы на 3 дня по сравнению с контролем, и пришлось календарно на 21 июня. Активный рост луковицы наблюдался через 2 дня после ее образования на всех вариантах опыта. Начало созревания луковицы наступает на 109-111 день с момента появления всходов. Наблюдалась небольшая задержка данной фазы на 2 дня по сравнению с контролем на вариантах ФОН + ФГ в дозах 8 и 10 т/га.

Через 13-14 дней наступает фаза технической спелости луковицы, и приходится календарно на 26 и 27 августа, что соответствует 123 и 124 дню с момента прохождения растениями фазы всходов. С задержкой в один день позже всех созревали луковицы на вариантах опыта с повышенной дозой ФГ – 8 и 10 т/га. В сложившихся погодных условиях 2022 года всходы лука сорта Визион появляются 29 апреля на всех вариантах опытов, а образование 5-го листа – через 18 дней (17 мая). Фаза образования луковицы наступает на 53-55 день с момента появления всходов. Наиболее поздно (23 июня) с задержкой в 2 дня относительно контроля образуются луковицы на вариантах опыта ФОН + ФГ 8-10 т/га. Начало активного роста луковиц наступает практически одновременно на всех вариантах опыта с задержкой в 1 день относительно контроля при внесении 8 и 10 т/га фосфогипса. Фаза начала созревания луковиц на вариантах с внесением 8 и 10 т/га ФГ отмечена на два дня позже остальных вариантов опыта – 17 августа или на 110 день от фазы всходов. Техническая спелость лука при внесении 8 и 10 т/га фосфогипса совместно с фоновым удобрением наступает также на 2 дня позже контроля и фона, что соответствует 129 дню от появления всходов.

Таблица 2.4.2 – Даты прохождения этапов органогенеза растений лука репчатого сорта Визион

| № п/п    | Вариант опыта                                      | Всходы | Образование 5-го листа | Образование луковицы | Начало активного роста луковицы | Начало созревания луковицы | Техническая спелость луковицы |
|----------|--|--------|------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 2021 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 25.04  | 14.05                  | 18.06                | 20.06                           | 12.08                      | 26.08                         |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> N <sub>150</sub> | 25.04  | 14.05                  | 18.06                | 20.06                           | 12.08                      | 26.08                         |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 25.04  | 14.05                  | 18.06                | 20.06                           | 12.08                      | 26.08                         |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 25.04  | 14.05                  | 18.06                | 20.06                           | 12.08                      | 26.08                         |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 25.04  | 14.05                  | 18.06                | 20.06                           | 12.08                      | 26.08                         |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 25.04  | 14.05                  | 21.06                | 23.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 25.04  | 14.05                  | 21.06                | 23.06                           | 14.08                      | 27.08                         |
| 2022 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 29.04  | 17.05                  | 21.06                | 24.06                           | 15.08                      | 1.09                          |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> N <sub>150</sub> | 29.04  | 17.05                  | 21.06                | 24.06                           | 15.08                      | 1.09                          |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 29.04  | 17.05                  | 21.06                | 24.06                           | 15.08                      | 1.09                          |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 29.04  | 17.05                  | 21.06                | 24.06                           | 15.08                      | 1.09                          |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 29.04  | 17.05                  | 21.06                | 24.06                           | 15.08                      | 1.09                          |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 29.04  | 17.05                  | 23.06                | 25.06                           | 17.08                      | 3.09                          |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 29.04  | 17.05                  | 23.06                | 25.06                           | 17.08                      | 3.09                          |
| 2023 год |  |        |                        |                      |                                 |                            |                               |
| 1        | Контроль   | 26.04  | 15.05                  | 20.06                | 24.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> N <sub>150</sub> | 26.04  | 15.05                  | 20.06                | 24.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 26.04  | 15.05                  | 20.06                | 24.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 26.04  | 15.05                  | 20.06                | 24.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 26.04  | 15.05                  | 20.06                | 24.06                           | 18.08                      | 5.09                          |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 26.04  | 15.05                  | 24.06                | 26.06                           | 20.08                      | 7.09                          |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 26.04  | 15.05                  | 24.06                | 26.06                           | 20.08                      | 7.09                          |

Тогда как на контрольном, фоновом варианте и с применением ФГ в нормах 2 и 4 т/га техническая спелость наступает 3 сентября или на 127 день после всходов, в то время как на остальных вариантах данный период длится 125 дней.

Аналогичные закономерности выявлены и в 2023 году: фазы всходов и образования 5-го листа происходят одновременно на всех вариантах опыта. Разница в фенологических показателях начинает проявляться с фазы образования луковицы, которая наступает на 4 дня позже контроля и фона на вариантах с применением ФГ в нормах 8 и 10 т/га, а начало активного роста и созревания луковицы, а также техническая спелость наступает на 2 дня позже контроля. Длина вегетационного периода составляет 134 дня. Наиболее рано созревание происходит на контрольном и фоновом варианте, а также при внесении 2-6 т/га фосфогипса – на 132 день после появления всходов.

Таким образом, анализируя данные фенологических наблюдений, можно заключить, что фаза всходов и образования 5-го листа у растений лука сорта Визион наступает одновременно, независимо от нормы внесения фосфогипса. Действие мелиоранта начинает проявляться в фазу образования луковицы. На вариантах с повышенной дозой фосфогипса (8 и 10 т/га) на фоне удобрений начало образования луковицы отстает от контроля и фона на 2-4 дня, активный рост луковицы – на 1-3 дня, созревание 2 дня, а техническая спелость – на 1-2 дня позже остальных вариантов опыта.

## **2.5. Методики исследований**

Растительные и почвенные образцы для анализа отбирали с использованием общепринятых методов Добровольского В. В., 1973 [53], Алексеенко К.А., 1990 [11]. На каждой пробной площадке отбирался смешанный образец методом конверта, весом около 500 г, который помещался в маркированный мешочек с присвоением ему номера. Растительные образцы (луковицы) отбирали параллельно с почвенными образцами на тех же площадках. Отбирали по

5-30 и более экземпляров в зависимости от их размера. Каждую пробу помещали в маркированные пакеты. Маркировка растительных образцов была связана с номером соответствующей пробной площадки. В пакетах почвенные и растительные образцы доставляли в лаборатории.

Для решения поставленных целей и задач в двухфакторном полевом опыте были проведены следующие учеты, наблюдения и анализы по следующим методикам:

- фенологические наблюдения – визуально оценивалось наступление фаз развития опытных культур по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [89];

- отбор и подготовку проб почвы для химического анализа (ГОСТ Р 58595-2019) [45] проводили буром Малькова в пахотном слое каждого варианта I и III повторности в пяти точках по двум диагоналям делянок [56].

- содержание гумуса по методу И. В.Тюрина в модификации ЦИНАО в соответствии с ГОСТ 26213-91 [41];

- pH солевой суспензии в модификации ЦИНАО в соответствии ГОСТ 26423-85 [42];

- содержание подвижного фосфора и обменного калия в нейтральных почвах по Ф.В. Чирикову (ГОСТ 26204-91), в карбонатных почвах по Б. П. Мачигину (ГОСТ 26205-91) [43];

- содержание легкогидролизуемого азота в кислотной (0,5 н  $H_2SO_4$ ) вытяжке по Ю. В. Тюрину и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудеярова [56].

- содержание тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии [79];

- учет фактического урожая экспериментальных культур проводили с ученой площади делянки с последующим пересчетом на 100 % чистоту [89].

Содержание подвижного фосфора и обменного калия получены разными методами, для сопоставимости полученные результаты лабораторных анализов по Мачигину пересчитаны по методу Чирикова.

- анализ почвенных и растительных образцов выполнен в сертифицированных лабораториях ФГБУ САС «Самарская» (Аттестат аккредитации испытательной лаборатории (центра) в системе аккредитации аналитических лабораторий (центров)» № РОСС RU.0001.510565 выдан 10.08.2016 г. (дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц – 22.04.2015 г.), испытательной лаборатории ФГБУ «Самарский референтный центр Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору» (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516467 от 23 мая 2015 г) и научно-исследовательской испытательной лаборатории ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ». Экономическую оценку технологии возделывания лука репчатого с применением фосфогипса и минеральных удобрений проводили по системе натуральных и стоимостных нормативов и цен, принятых для производственных условий ФГБОУ ВО Самарский ГАУ в 2021 г.

Подготовку образцов почвы и растений для определения валового содержания тяжёлых металлов в них проводили традиционным методом [109, 110, 111].

Из средних образцов воздушно-сухого растительного материала отбирали, измельчали вручную и взвешивали на аналитических весах с точностью до 3-го знака определенное количество надземной фитомассы и луковиц растений. Количество воздушно сухого материала, необходимого для анализа, определяли по выходу золы не менее 100 мг зольных веществ. Навеску воздушно-сухого материала озоляли в муфельной печи при температуре +450 - +500<sup>0</sup>С в течение 4-20 часов в зависимости от характера образца [112]. Золу взвешивали на аналитических весах до 3-го знака, растирали в агатовой ступке и помещали в маркированные пакетики, на которых указывали начальную навеску воздушно-сухого материала и вес полученной золы в граммах. В пакетиках подготовленные пробы хранились до анализа.

Определение валовых форм тяжелых металлов в почвах и растительных образцах проводилось с предварительной подготовкой проб методом «сухой»

минерализации при 575<sup>0</sup>С. Подвижные формы соединений извлекались ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (ААБ). Экстрагент принят агрохимической службой для извлечения доступных растениям микроэлементов. Конечное определение элементов проводили пламенным и электротермическим вариантами с применением атомно-абсорбционного спектрофотометра «Спектр 5-4» в пламени ацетилен – воздух. Одновременно проводили холостой анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы. За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое двух параллельных определений.

В качестве фоновых значений тяжелых металлов использовались значения, полученные Н. В. Прохоровой [109, 110, 111].

Полученные экспериментальные данные подвергались статистической обработке методом дисперсионного анализа двухфакторного опыта. Корреляционно-регрессионный анализ, средние значения из повторений и стандартные отклонения вычисляли с использованием электронной таблицы Microsoft Office Excel 2007.

### 3. АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛУКА РЕПЧАТОГО ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

#### 3.1. Ретроспективный агрохимический анализ состояния почвы по полям севооборотов

По природно-сельскохозяйственному районированию страны исследуемая территория относится к Заволжской провинции степной зоны и располагается на древних надпойменных террасах р. Волги.

Объект исследования – черноземы обыкновенный остаточно-луговатыми и обыкновенными остаточно-луговатыми карбонатными с вкраплениями мелких контуров лугово-черноземных почв. Образование лугово-черноземных почв на высоких террасах связано с орошением.

Почвенный покров исследуемой территории обследования в границах севооборота представлен 1-м типом, 1-м подтипом и 3-я почвенными разновидностями (табл.3.1.1).

Таблица 3.1.1 – Классификация почвенного покрова в границах севооборотов

| Тип      | Подтип                | Род   | Разновидность  |
|----------|-----------------------|---|--|
| Чернозем | Чернозем обыкновенный | Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый             | Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный мощный орошаемый среднесуглинистый  |
|          |                       |   | Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый слабогумусированный среднемошный орошаемый среднесуглинистый   |
|          |                       | Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный | Комплекс:<br>1. Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднемошный орошаемый среднесуглинистый<br>2. Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднемошный среднесуглинистый 10-25% |

Названия почв даны по действующей классификации. Характеристика почвенного покрова приведена на основе полученных результатов лабораторных исследований, места заложения точек отбора показаны на картографическом материале (рис. 3.1.1).

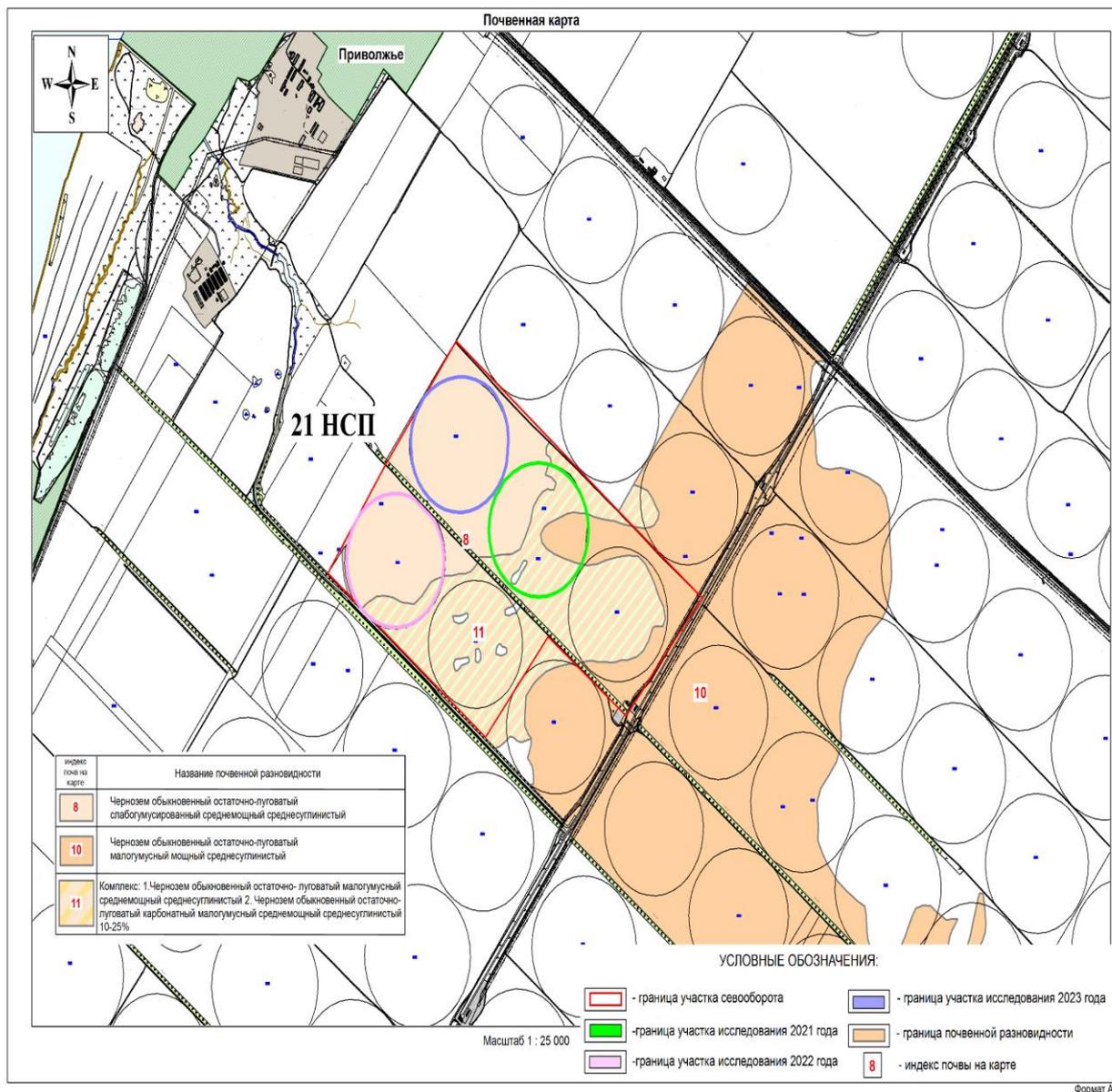


Рисунок 3.1.1 – Почвенные разности на карте-схеме Приволжского района Самарской области

Черноземы обыкновенные остаточно-луговые получили распространение на слабоволнистой второй надпойменной террасе р.Волги. Почвообразующими породами для них служат древнеаллювиальные средние суглинки. Содержание гумуса в этих почвах относительно небольшое 5,0-4,0 %, вниз по

профилю убывание гумуса идет очень постепенно. На глубине 1 м его обнаруживается 1,5 %, что характерно для остаточно-луговатых черноземов. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое составляет 39,7-28,0 мг-экв на 100 г почвы, с преобладанием поглощенного кальция, что также типично для этих почв. Высокая насыщенность почвенного поглощающего комплекса обменным кальцием способствует его устойчивости. Коллоиды, содержащие обменный кальций, более водопрочные.

Чернозёмы обыкновенные остаточно-луговатые карбонатные приурочены к повышенным частям второй надпойменной террасы. Они, как правило, встречаются в виде пятен среди обычных остаточно-луговатых черноземов. Черноземы обыкновенные остаточно-луговатые карбонатные имеют в основном среднесуглинистый механический состав.

Среди фракций мелкозема преобладает крупная пыль и ил. По содержанию гумуса эти черноземы относятся к малогумусным с количеством гумуса при среднесуглинистом механическом составе в горизонтах Апах – 4,3-5,7 %. Уменьшение гумуса вниз по профилю происходит очень медленно. В прямой зависимости с содержанием гумуса и механического состава находится емкость поглощения. Поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием в отношении 5-7:1, а по мере углубления вниз по профилю количество магния увеличивается. Реакция почвенной среды слабощелочная, с  $pH=7,5$ . Сумма поглощенных оснований 27,9 мг-экв. на 100 г почвы. Почвообразующими породами служат древнеаллювиальные тяжелые и средние суглинки. По сравнению с вышеописанными остаточно-луговатыми обычными черноземами данный род характеризуется устойчивым поверхностным вскипанием т.е. наличием карбонатов во всем почвенном профиле, начиная с поверхности.

В карбонатных почвах содержится повышенное количество  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $HCO_3^-$  в почвенном растворе, что определяет их слабощелочную реакцию. В этих почвах быстрее осуществляется минерализация органического вещества и высвобождается азот в минеральных формах. Фосфаты, железо, марганец,

тяжелые металлы здесь менее доступны, чем в кислых почвах. Присутствие в почвенных растворах большого количества кальция вследствие антагонизма катионов может затруднить усвоение некоторых элементов питания, создавая их недостаток для растений. В условиях промывного водного режима повышенная карбонатность почв способствует усилению аккумулятивных почвообразовательных процессов и ослаблению элювиальных, оптимизации гумусового состояния, физико-химических и физических свойств.

В черноземах при нейтральной реакции среды в групповом составе гумуса преобладают гуминовые кислоты ( $C_{гк}:C_{фк} = 2-2,5$ ). Это соответствует накоплению гумуса 4-12 % и емкости поглощения почвы катионов 50-70 мг-экв. /100 г почвы. При слабощелочной реакции среды почв протекает щелочной гидролиз органической и минеральной части почв. В групповом составе гумуса преобладающее место занимают фульвокислоты ( $C_{гк}:C_{фк} = 0,5-0,7$ ). Этот соответствует малой емкости поглощения почвами катионов (5-10мг-экв. /100г почвы).

В результате проделанных исследований были получены показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения за период между обследованиями (2003-2023 гг.), что позволяет выявить динамику основных свойств и признаков почв. Наиболее динамичным показателем в пахотном слое является содержание гумуса – основного показателя плодородия почв.

Ретроспективный анализ данных исследуемых участков показал, что почвенный покров характеризуется содержанием органического вещества в виде гумуса с колебанием от слабогумусированных (содержание гумуса 3,1 %) до малогумусных (содержание гумуса 4,0-5,0 %), обеспеченность элементами питания подвижным фосфором колеблется от очень низкой (7,0 мг/кг почвы) до повышенной (140 мг/кг почвы) и калием от средней (57 мг/кг почвы) до очень высокой (186 мг/кг почвы) (табл. 3.1.2).

Степень обеспеченности подвижными формами фосфора для зерновых и пропашных культур низкая и средняя. Что касается обеспечения подвижными формами калия, низкая и очень низкая для зерновых и пропашных культур.

Таблица 3.1.2 – Агрохимическая характеристика черноземов обыкновенных в слое 0-30 см

| рН водн.  | Гумус, % | Содержание подвижных форм, мг/кг |          |          |          | Сумма поглощенных оснований мг-экв/100 г | Балл бонитета |
|---|----------|----------------------------------|----------|----------|----------|--|---------------|
|   |          | Фосфор                           |          | Калий    |          |  |               |
|   |          | По методу                        |          |          |          |  |               |
|   |          | Чирикова                         | Мачигина | Чирикова | Мачигина |  |               |
| 1. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой малогумусный мощный орошаемый среднесуглинистый  |          |                                  |          |          |          |  | 80            |
| 6,8   | 4,7      | 38                               | -        | 120      | -        | -  |               |
| 6,9   | 4,2      | 53                               | -        | 57       | -        | -  |               |
| 7,4   | 5,0      | 132                              | -        | 186      | -        | -  |               |
| 7,0   | 4,0      | 63                               | -        | 97       | -        | -  |               |
| 7,0   | 4,3      | 30                               | -        | 120      | -        | -  |               |
| Сочетание: 1. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой малогумусный среднемощный орошаемый среднесуглинистый.<br>2. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой карбонатный малогумусный среднемощный орошаемый среднесуглинистый 10-25% |          |                                  |          |          |          |  | 67/68         |
| 3. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой малогумусный среднемощный орошаемый среднесуглинистый  |          |                                  |          |          |          |  | 67            |
| 6,8   | 4,0      | 63                               | -        | 94       | -        | -  |               |
| 4. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой карбонатный малогумусный среднемощный орошаемый среднесуглинистый 10-25%   |          |                                  |          |          |          |  | 68            |
| 7,0   | 4,6      | --                               | 42       | -        | 227      | -  |               |
| 5. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой слабогумусированный среднемощный орошаемый среднесуглинистый   |          |                                  |          |          |          |  | 67            |
| 7,0   | 3,1      | 7,0                              | 3,1      | 7,0      | 3,1      | -  | -             |
| 7,0   | 3,1      | 140                              |          | 146      | -        | -  | -             |

Категория земель по продуктивности пашни исходя из балла бонитета характеризуется как хорошая и лучшая.

Для установления баланса гумуса на пашне было проведено сопоставление результатов определения содержания гумуса в почвах, обследованных повторно через 20 лет. Результатами обследования 2003 г были фондовые данные, полученные в результате проведенных работ по определению плодородия почв на территории Самарской области в разрезе по районам в границах бывших сельхозпредприятий, выполненные АО «ВолгоНИИгипрозем» 2002-2003 гг. Содержание и запас органического вещества в почвах служат основным критерием оценки почвенного плодородия, а также рассматривается с точки зрения экологической устойчивости почв как компонента биосферы. Гумусовое состояние почв принято характеризовать содержанием гумуса в пахотном слое и запасами в слое 0-100 см. Оценка содержания гумуса в почвах дифференцирована в зональном аспекте. Для черноземов выделяются виды по содержанию гумуса: тучные > 9,0 %; среднегумусные от 9,0 до 6,0 %; малогумусные от 6,0 до 4,0 %; слабогумусированные < 4,0 % [38].

На исследуемой территории отмечено незначительное падение содержания гумуса за период между обследованиями (2003-2021, 2022, 2023 гг.) которое колеблется в границах севооборота от 0,2 % до 1,0 % (табл. 3.1.3)

Результаты исследования по двум периодам почвенного обследования сопоставлены между собой и определена разница содержания гумуса в пахотном слое. При этом расчеты выполнены на сопоставимую мощность пахотного слоя.

Разница между средними величинами содержания гумуса за первый и второй периоды почвенного обследования составляют потерю или прибавку гумуса за это время. Прибавка или потеря гумуса рассчитывалась в % и т/га. Показатели в т/га позволяют, во-первых, иметь наглядное представление об удельном весе потери или прибавки гумуса по отношению к общим его запасам в пахотном слое и, во-вторых, определить потребность в органических удобрениях для создания бездефицитного баланса гумуса.

Таблица 3.1.3 – Динамика содержания гумуса в пахотном слое, %, 2003-2023 гг.

| Почва  | Среднее содержание |      | Изменение в содержании |
|--|--------------------|------|------------------------|
|  | 2003               | 2023 | 2003-2023              |
| Чернозем обыкновенный остаточно-луговой малогумусный мощный среднесуглинистый                  | 5,1                | 4,1  | -1,0                   |
| Чернозем обыкновенный остаточно-луговой слабогумусированный среднесуглинистый                  | 2,8                | -    | -                      |
| Сочетание:<br>1. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой малогумусный мощный среднесуглинистый | 4,5                | 4,3  | -0,2                   |
| 2. Чернозем обыкновенный остаточно-луговой карбонатный малогумусный среднесуглинистый          | 4,6                | 4,3  | -0,3                   |

По мощности гумусового горизонта данные почвы отнесены к среднесуглинистым и только у одной разновидности по мощности отнесена к мощной. Мощность гумусового горизонта в среднем составляет 72 см с пределом варьирования от 51 см до 75 см и мощная 82 см. По механическому составу все почвы представлены среднесуглинистыми разновидностями. Преобладающими являются фракции крупной пыли и мелкого песка.

По содержанию гумуса в верхнем горизонте почвы отнесены к малогумусным и слабогумусированным.

### 3.2 Обменная и гидролитическая кислотность почвы опытного участка

Лук чувствителен к повышенной концентрации питательного раствора и кислотности. Толерантные значения рН для лука – 6,5-8,0, оптимальные – 6,7-7,3. При рассмотрении динамики изменения рН в зависимости от дозы внесения фосфогипса необходимо учесть, что исследуемые участки располо-

жены при условии орошения поэтому большую роль играет качество поливной воды. Физико-химические свойства поливной воды приведены в таблице 3.2.1

Поливная вода оценивается по степени ее жесткости к средней жесткости, показатель 5,9 мг-экв. /л. очень близок к жесткой которая характеризуется удовлетворительной. Результаты испытаний при рН 8,3 указывают на повышенную щелочность.

Таблица 3.2.1. – Физико-химические свойства поливной воды

| № п/п | Наименование показателя   | Единицы измерения           | Результат испытаний |
|-------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1     | Карбонаты                 | мг/дм <sup>3</sup>          | 0                   |
| 2     | Гидрокарбонаты            | мг/дм <sup>3</sup>          | 0                   |
| 3     | Общая жесткость           | <sup>0</sup> Ж, мг-экв. /л. | 5,9                 |
| 4     | Водородный показатель, рН | ед. рН                      | 8,3                 |

Полученные результаты указывают на повышенную щелочность водной среды. Кроме того, необходимо учесть тот факт, что фосфогипс характеризуется кислой реакцией среды (рН 4,5-5,0) (табл.3.2.2).

Попадая в почву фосфогипс как правило подкисляет ее, но в условиях орошения, где поливная вода щелочная, фосфогипс в первую очередь взаимодействует с водой снижая ее щелочность и только потом оказывает влияние на почву.

Орошение полей после внесения фосфогипса следует выполнять по промывному типу: оросительные нормы для конкретных почвенно-климатических условий, рассчитываемые по дефициту почвенной влаги.

Фосфогипс от компании «ФосАгро» – это побочный продукт производства фосфорной кислоты, который безопасен для окружающей среды. Он оптимизирует кислотность рН в первый год применения на 0,4-0,6 единиц блокирует фитотоксичность алюминия и железа, связывая эти ионы в нерастворимые соединения. Кроме того, он улучшает структуру грунта и активизирует почвенную биоту.

Таблица 3.2.2 – Результаты исследования рН почвы при внесении различных норм внесения фосфогипса, 2021 -2023 гг.

| № п.п | Вариант  | рН сол |      |      | рН вод. |      |      |
|-------|--|--------|------|------|---------|------|------|
|       |  | 2021   | 2022 | 2023 | 2021    | 2022 | 2023 |
| 1     | Контроль   | 7,0    | 6,0  | 6,2  | 7,6     | 6,6  | 6,9  |
| 2     | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 7,0    | 7,2  | 6,2  | 7,6     | 7,3  | 6,9  |
| 3     | + ФГ 2 т/га  | 7,3    | 7,2  | 7,5  | 7,6     | 7,6  | 8,2  |
| 4     | + ФГ 4 т/га  | 7,2    | 7,5  | 7,3  | 7,8     | 7,6  | 7,8  |
| 5     | + ФГ 6 т/га  | 7,0    | 7,3  | 7,4  | 7,8     | 7,7  | 7,8  |
| 6     | + ФГ 8 т/га  | 7,0    | 7,4  | 7,4  | 7,8     | 7,5  | 7,8  |
| 7     | + ФГ 10 т/га                                       | 7,0    | 7,2  | 7,4  | 7,6     | 8,0  | 7,9  |

По результатам исследования 2021 года все почвенные образцы обладают обменной кислотностью, т.е. в соотношении актуальной и потенциальной кислотности почв соблюдено  $pH_{H_2O} > pH_{сол}$ . Градация почв по степени кислотности в контрольном образце соответствует нейтральной среды по обменной кислотности и слабощелочной по актуальной кислотности, в опытных образцах колеблется от верхнего предела нейтральных до нижнего предела слабощелочной реакции почвенной среды и находятся в оптимальном интервале для лука. Показатели почвенной среды колеблются в зависимости от вариантов исследования по изменению внесенного количества доз фосфогипса. Обменная кислотность практически не изменяется при увеличении доз вносимого фосфогипса и приближается к контрольному показателю  $pH_{сол}=7,0$ .

По результатам исследования 2022 года все почвенные образцы обладают обменной кислотностью. Градация почв по степени кислотности в контрольном образце соответствует нейтральной среде. В опытных образцах степень кислотности колеблется от верхнего предела нейтральной до нижнего предела слабощелочной реакции почвенной среды, при этом находится в оптимальном интервале для лука.

Реакция почвенной среды изменяется в зависимости от вариантов исследования в зависимости от доз фосфогипса. Значение обменной кислотности зависит от доз вносимого фосфогипса, однако остается в одной градации – нейтральной, при внесении 10 т/га фосфогипса обменная кислотность сдвигается в сторону слабощелочной среды.

По результатам исследования 2023 года градация почв по степени кислотности в контрольном образце относится к обменной кислотности, где актуальная так же соответствует нейтральной среды. На показатели почвенной среды влияют дозы вносимого фосфогипса. При увеличении количества вносимого фосфогипса обменная кислотность изменяется в сторону подщелачивания. Полученные результаты исследования при разной вариантности внесения доз фосфогипса показали, что обменная кислотность для лука находится в оптимальном интервале рН для лука рН 6,4-7,9. Актуальная кислотность в образцах 2022 и 2023 гг. несколько выходит за пределы оптимальности, но так как эта величина неустойчивая, сильно изменяющаяся в течение вегетационного периода, поэтому наиболее целесообразно принимать во внимание обменную кислотность.

### **3.3 Агрохимические показатели почв производственных плантаций лука репчатого**

Интенсивная технология выращивания сельскохозяйственных культур, обеспечивая высокую урожайность, способствует выносу питательных веществ из почвы и минерализации гумуса. Регулирование этого процесса возможно только при оптимизации питательного режима почвы за счет внесения органических и минеральных удобрений.

Исходя из полученных результатов показателей агрохимического анализа почвы участков выращивания лука репчатого (табл. 3.3.1, табл. 3.3.2), определялась потребность в органических и минеральных удобрениях для исследуемых сортов лука.

Таблица 3.3.1 – Показатели агрохимического анализа почвы участков выращивания лука репчатого, 2021-2023гг.

| № | Вариант  | рН (сол) |      |      | Гумус, % |      |      | Азот<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ,<br>мг/кг | Азот<br>ЛГ<br>мг/кг | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг |      |      | K <sub>2</sub> O, мг/кг |      |      |
|---|--|----------|------|------|----------|------|------|---|---------------------|---------------------------------------|------|------|-------------------------|------|------|
|   |  | 2021     | 2022 | 2023 | 2021     | 2022 | 2023 | 2023  | 2023                | 2021                                  | 2022 | 2023 | 2021                    | 2022 | 2023 |
| 1 | Контроль   | 7,0      | 6,0  | 6,2  | 4,2      | 4,1  | 4,3  | 7,6   | 76                  | 210                                   | 196  | 218  | 196                     | 336  | 112  |
| 2 | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 7,0      | 7,2  | 6,2  | 3,7      | 4,1  | 3,6  | 8,4   | 126                 | 190                                   | 145  | 218  | 196                     | 336  | 112  |
| 3 | + ФГ 2 т/га  | 7,3      | 7,2  | 7,5  | 4,8      | 4,2  | 3,6  | 10,0  | 147                 | 184                                   | 145  | 139  | 255                     | 144  | 240  |
| 4 | + ФГ 4 т/га  | 7,2      | 7,5  | 7,3  | 4,0      | 4,1  | 3,4  | 11,5  | 138                 | 152                                   | 139  | 106  | 234                     | 224  | 240  |
| 5 | + ФГ 6 т/га  | 7,0      | 7,3  | 7,4  | 3,8      | 4,0  | 3,7  | 16,1  | 152                 | 161                                   | 144  | 186  | 198                     | 189  | 207  |
| 6 | + ФГ 8 т/га  | 7,0      | 7,4  | 7,4  | 4,0      | 4,2  | 3,6  | 16,5  | 146                 | 154                                   | 132  | 106  | 219                     | 242  | 205  |
| 7 | + ФГ 10 т/га                                       | 7,0      | 7,2  | 7,4  | 4,0      | 4,2  | 3,6  | 16,6  | 138                 | 164                                   | 125  | 192  | 265                     | 348  | 210  |

Таблица 3.3.2 –Средние\* показатели агрохимических свойств почвы на опытных участках выращивания лука репчатого, 2021-2023 гг.

| №<br>п.п | Вариант  | Показатель |          |             |                      |                   |  |                            |
|----------|--|------------|----------|-------------|----------------------|-------------------|--|----------------------------|
|          |  | pH(сол.)   | pH(вод.) | Гумус,<br>% | Азот. нитр.<br>мг/кг | Азот ЛГ,<br>мг/кг | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,<br>мг/кг | K <sub>2</sub> O,<br>мг/кг |
| 1        | Контроль   | 6,2        | 6,9      | 4,2         | 7,6                  | 76                | 208                                      | 215                        |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 6,8        | 7,2      | 3,8         | 8,4                  | 126               | 184                                      | 215                        |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 7,5        | 8,2      | 4,2         | 10,0                 | 147               | 89                                       | 194                        |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 7,3        | 7,8      | 3,8         | 11,5                 | 138               | 27                                       | 233                        |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 7,4        | 7,8      | 3,8         | 16,1                 | 152               | 95                                       | 199                        |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 7,4        | 7,8      | 3,9         | 16,5                 | 146               | 24                                       | 222                        |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 7,4        | 7,9      | 3,9         | 16,6                 | 138               | 33                                       | 274                        |

*Примечание:* \* Средневзвешенные показатели агрохимических показателей за период 2021-2023 гг

Важным показателем при изучении агрохимического состояния почвы уделяется органическому веществу почвы, которое находится в форме гумуса и остатков животных и растений, т.е. это важная составная часть почвы, представляющая сложный комплекс органических веществ биогенного происхождения.

Расчет баланса гумуса позволяет осуществить контроль за характером изменения содержания гумуса при сложившейся структуре посевных площадей и уровне применения удобрений.

Баланс гумуса в севообороте характеризовался отрицательной величиной. При отрицательном балансе основным источником восполнения гумуса в почве являются органические удобрения, поэтому для каждого севооборота необходимо установить дозу внесения и насыщенность органическими удобрениями. Для восполнения гумуса в почве установили дозу внесения и насыщенность органическими удобрениями. Урожайность культур принята по результатам полученного урожая в границах севооборота.

Расчет баланса гумуса по севообороту определялся на 1 га севооборотной площади, в севообороте с картофелем, соей и луком и в среднем по севообороту по вариантам опыта для исследуемых сортов репчатого лука Манас (табл. 3.3.3, табл. 3.3.4). Потери гумуса за счет минерализации составили 0,5-0,8 т/га по каждой культуре или 3,4 т/га за всю ротацию севооборота. Накопление гумуса шло за счет оставления пожнивно-корневых остатков, выход которых составил 3,19-8,27 т/га. Баланс гумуса оказался положительным только под луком репчатым на вариантах с внесением повышенных норм мелиоранта – 6, 8 и 10 т/га. Баланс гумуса в этом случае составляет +0,01...+0,03 т/га.

Баланс гумуса в пятипольном севообороте будет восстановлен при дозе органических удобрений на контрольном участке 43,18 т/га на остальных в зависимости от вариантности от 34,32 т/га до 36,36 т/га при насыщенности органическими удобрениями на контрольном участке 8,64 т/га и вариантах с внесением фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями от 6,85 т/га до 7,27 т/га.

Таблица 3.3.3 – Расчет баланс гумуса в севообороте с луком репчатым сорта Манас

| Культура  | Вариант опыта                                      | Средняя урожайность, т/га за 3 года | Минерализация (потери) гумуса, т/га | Коэффициент выхода пожниво-корневых остатков от основной продукции урожайности | Накопление гумуса за счет пожниво-корневых остатков, т/га |   |                        |
|-----------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|------------------------|
|           |  |                                     |                                     |  | Выход пожниво-корневых остатков, т/га                     | Выход гумуса из пожниво-корневых остатков, т/га | Баланс гумуса +/- т/га |
| Соя       |  | 2,45                                | 0,5                                 | 1,3  | 3,19  | 0,79  | -0,18                  |
| Лук       | Контроль   | 36,3                                | 0,8                                 | 0,12   | 4,72  | 0,47  | -0,36                  |
|           | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 61,7                                | 0,8                                 | 0,12   | 7,41  | 0,74  | -0,06                  |
|           | + ФГ 2 т/га  | 64,8                                | 0,8                                 | 0,12   | 7,78  | 0,79  | -0,01                  |
|           | + ФГ 4 т/га  | 66,6                                | 0,8                                 | 0,12   | 7,99  | 0,80  | 0                      |
|           | + ФГ 6 т/га  | 68,9                                | 0,8                                 | 0,12   | 8,27  | 0,83  | +0,03                  |
|           | + ФГ 8 т/га  | 68,4                                | 0,8                                 | 0,12   | 8,21  | 0,82  | +0,02                  |
|           | + ФГ 10 т/га                                       | 67,8                                | 0,8                                 | 0,12   | 8,14  | 0,81  | +0,01                  |
| Картофель |  | 35,2                                | 0,8                                 | 0,13   | 4,22  | 0,42  | -0,38                  |
| Пар       |  |                                     | 0,8                                 | -  | -   | -   | -0,80                  |
| Соя       |  | 2,45                                | 0,5                                 | 1,3  | 3,19  | 0,79  | -0,18                  |
| Итого     |  | -                                   | 3,4                                 | -  |   |   | -1,90                  |

Таблица 3.3.4 – Расчет баланса гумуса в среднем по севообороту с луком репчатым сорта Манас

| Показатель                                   | Вариант опыта |  |            |            |            |            |             |
|--|---------------|--|------------|------------|------------|------------|-------------|
|  | Контроль      | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | +ФГ 2 т/га | +ФГ 4 т/га | +ФГ 6 т/га | +ФГ 8 т/га | +ФГ 10 т/га |
| Баланс гумуса по севообороту                 | -1,90         | -1,60  | -1,55      | -1,54      | -1,51      | -1,52      | -1,53       |
| Среднее по севообороту                       | -0,38         | -0,32  | -0,31      | -0,31      | -0,30      | -0,30      | -0,31       |
| Доза внесения органических удобрений, т/га   | 43,18         | 36,36  | 35,23      | 35,23      | 34,32      | 34,54      | 34,77       |
| Насыщенность органическими удобрениями, т/га | 8,64          | 7,27   | 7,05       | 7,05       | 6,85       | 6,91       | 6,95        |

Исходя из полученных результатов, определялась потребность в органическом удобрении для сорта Визион (табл.3.3.5, табл. 3.3.6)

Для восполнения гумуса в почве установили дозу внесения и насыщенность органическими удобрениями. Баланс гумуса в пятипольном севообороте будет восстановлен при дозе органических удобрений на контрольном участке 43,18 т/га на остальных в зависимости от вариантности от 35,68 т/га до 39,09 т/га при насыщенности органическими удобрениями на контрольном участке 8,64 т/га и вариантах исследования от 7,14 т/га до 7,82 т/га для сорта Визион.

Наибольший дефицит испытывает вариант без внесения минеральных удобрений на контрольном участке при принятой урожайности в севообороте картофеля – 35,2 т/га, сои – 2,45 т/га и лука – 37,0 т/га величина баланса отрицательная и составила по севообороту – 1,90. При вариантном исследовании на фоне (фон+N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>) – 59,1 т/га, фон+ ФГ (в дозах 2 т/га, 4 т/га, 6т/га, 8 т/га, 10 т/га) с колебанием урожайности лука от 60,8 т/га до 63,9 т/га (урожайность остальных культур в севообороте осталась без изменения) баланс гумуса, полученный расчетным путем, отрицательный.

Баланс гумуса в среднем по севообороту с луком репчатым сорта Манас был отрицательным и составил от -1,51 т/га до -1,90 т/га. В среднем по севообороту баланс гумуса равнялся -0,30, - 0,38 т/га. Доза внесения органических удобрений составляет 34,32-43,18 т/га. При внесении ФГ на фоне минеральных удобрений дозы на 18,4-20,5 % ниже контроля. Насыщенность органическими удобрениями составляет 6,85-8,64 т/га. Минимальное значение, которое на 20,7 % ниже контрольного показателя, выявлено на варианте, где вносилось 6 т/га ФГ.

Таблица 3.3.5 – Расчет баланс гумуса в севообороте с луком репчатым сорта Визион

| Культура  | Вариант опыта                                      | Средняя урожайность, т/га за 3 года | Минерализация (потери) гумуса, т/га | Коэффициент выхода пожнивно-корневых остатков от основной продукции урожайности | Накопление гумуса за счет пожнивно-корневых остатков, т/га |  |                        |
|-----------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|--|------------------------|
|           |  |                                     |                                     |   | Выход пожнивно-корневых остатков, т/га                     | Выход гумуса из пожнивно-корневых остатков, т/га | Баланс гумуса +/- т/га |
| Соя       |  | 2,45                                | 0,5                                 | 1,3   | 3,19   | 0,79   | -0,18                  |
| Лук       | Контроль   | 37,0                                | 0,8                                 | 0,12  | 4,44   | 0,44   | -0,36                  |
|           | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 59,1                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,09   | 0,71   | -0,09                  |
|           | + ФГ 2 т/га  | 60,8                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,30   | 0,73   | -0,07                  |
|           | + ФГ 4 т/га  | 62,5                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,50   | 0,75   | -0,05                  |
|           | + ФГ 6 т/га  | 63,9                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,67   | 0,77   | -0,03                  |
|           | + ФГ 8 т/га  | 63,8                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,66   | 0,77   | -0,03                  |
|           | + ФГ 10 т/га                                       | 62,9                                | 0,8                                 | 0,12  | 7,55   | 0,76   | -0,04                  |
| Картофель |  | 35,2                                | 0,8                                 | 0,13  | 4,22   | 0,42   | -0,38                  |
| Пар       |  | -                                   | 0,8                                 | -   | -  | -  | -0,80                  |
| Соя       |  | 2,45                                | 0,5                                 | 1,3   | 3,19   | 0,79   | -0,18                  |
| Итого     |  | -                                   | 3,4                                 | -   |  |  | -1,90                  |

Таблица 3.3.6 – Расчет баланса гумуса в среднем по севообороту с луком репчатым сорта Визион

| Показатель                                    | Вариант опыта |       |             |             |             |             |              |
|---|---------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|   | Контроль      | Фон   | + ФГ 2 т/га | + ФГ 4 т/га | + ФГ 6 т/га | + ФГ 8 т/га | + ФГ 10 т/га |
| Баланс гумуса по севообороту                  | -1,90         | -1,72 | -1,61       | -1,59       | -1,57       | -1,57       | -1,58        |
| Среднее по севообороту                        | -0,38         | -0,34 | -0,32       | -0,32       | -0,31       | -0,31       | -0,32        |
| Доза внесения органических удобрений т/га     | 43,18         | 39,09 | 36,59       | 36,14       | 35,68       | 35,68       | 35,91        |
| Насыщенность для бездефицитного баланса, т/га | 8,64          | 7,82  | 7,32        | 7,23        | 7,14        | 7,14        | 7,18         |

На основе полученных данных о средней урожайности лука за период 2021-2023 гг. с разделением на 2 испытываемых сорта произведен расчет потребности в минеральных удобрениях для сорта Манас 61,7 т/га и для сорта Визион 59,1 т/га (табл. 3.3.7). Расчет произведен балансовым методом, при котором учитываются все статьи прихода и расхода питательных веществ на основе материалов агрохимического обследования, а также показателей выноса питательных элементов на фактически полученную урожайность под одну культуру – лук. Лук отличается повышенной требовательностью к плодородию почвы, так как корневая система его слабо развита и располагается в поверхностном слое почвы.

Наибольший дефицит испытывает вариант с внесением минеральных удобрений на контрольном участке при принятой урожайности в севообороте картофеля – 35,2 т/га, сои – 2,45 т/га и лука – 36,3 т/га носит отрицательный баланс и составил по севообороту – 1,90. При вариантном исследовании фон (N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>) и фон+ ФГ (в дозах 2 т/га, 4 т/га, 6 т/га, 8 т/га, 10 т/га) с колебанием урожайности лука от 61,7 т/га до 68,9 т/га (урожайность остальных культур в севообороте осталась без изменения) баланс гумуса, полученный расчетным путем, отрицательный.

На формирование 1 т лука репки затрачивается 4,3 кг азота, 1,2 кг – фосфора и 4,6 кг калия. Потребность в элементах питания, находится в прямой зависимости от полученного урожая, чем выше был получен урожай, тем выше потребность в азотном, фосфорном и калийном питании.

Для получения лука репчатого сорта Манас при средней урожайности за 3 года 2021-2023 гг. 61,7 т/га на 1 га потребуется внести 315 кг азота, 240 кг – фосфора и 195 кг калия (табл. 3.3.8). Для сорта Визион при средней урожайности за 3 года 2021-2023 гг. 59,1 т/га на 1 га потребуется внести 299,0 кг азота, 222,0 кг – фосфора и 178,0 кг калия (табл.3.3.9).

Исходя из полученных расчетов потребности в элементах питания за ротацию севооборота необходимо внести минеральных удобрений на участке под луком репчатым сорта Манас 103 338 кг из них: 71969 кг азота, 31291 кг

фосфора и 114 кг калия; сорта Визион 101 722 кг из них: 70819 кг азота, 30791 кг фосфора и 112 кг калия.

Принято считать, что азот в почве накапливается 50 % от выноса, а используется 50 % от того, что накопилось в почве. В севообороте присутствует бобовая культура – соя. При определении общей потребности в минеральных удобрениях учитывают балансовые коэффициенты их использования за ротацию севооборота. Расчет был произведен на примере 2023 года на планируемую урожайность лука репчатого сорта Манас 61,7 т/га, сорта Визион 59,1 т/га, картофеля 35,2 т/га и сои 2,45 т/га без учета внесения органических удобрений. Класс обеспеченности почвы в обоих вариантах составил: по азоту – высокая, фосфору – повышенная и калию – высокая.

На опытных участках проводилось исследование обеспеченности почвы как органическими, так и минеральными формами азота.

По содержанию нитратного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) по вариантам: контроль и фон (фон+N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>) обеспеченность азотом очень низкая; варианты фон +фосфогипс (ФГ) 2 т/га и 4 т/га – низкая; фон +фосфогипс (ФГ) 6 т/га, 8 т/га и 10 т/га – средняя.

Содержание легкогидролизуемого азота (ЛГ) по вариантам соответствует: контроль обеспеченность ЛГ азотом очень низкая; варианты фон (N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>), фон +фосфогипс (ФГ) 2 т/га и все остальные +4 т/га, 6 т/га, 8 т/га и 10 т/га – очень высокая. Однако легкогидролизуемый азот доступен только после процесса минерализации в природных условиях и благодаря этому является ближайшим источником пополнения минеральных соединений азота, используемых растениями.

Балансовым методом была определена потребность растений в элементах питания на год внесения на примере 2023 года. Дозы минеральных удобрений с учетом биологических требований культур и плодородия почв в 2023 году и для получения продукции лука репчатого сорта Манас необходимо азота – 45,8 кг/га; фосфора – 8,9 кг/га; калия – 137 кг/га (табл.3.3.10); сорта Визион: азота – 45,8 кг/га; фосфора – 8,3 кг/га; калия – 129,9 кг/га (табл.3.3.11).

Таблица 3.3.7 – Расчет доз удобрений для получения урожая сортов лука, 2021 – 2023 гг., т/га

| Показатель  | Сорт Манас<br>средняя урожайность |                               |                  | Сорт Визион<br>средняя урожайность |                               |                  |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|   | 61,7                              |                               |                  | 59,1                               |                               |                  |
|   | N                                 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Вынос NPK на т урожая, кг (контроль)                                    | 4,3                               | 1,7                           | 4,6              | 4,3                                | 1,7                           | 4,6              |
| Общий вынос на запланируемую урожайность, кг/га                         | 265,3                             | 104,9                         | 283,8            | 254,1                              | 100,5                         | 271,9            |
| Содержание элементов питания в почве, мг/100г                           | 7,5                               | 12,5                          | 12,3             | 7,5                                | 12,5                          | 12,3             |
| Коэффициент перевода элементов питания от мг/100 г почвы в кг/га, (*30) | 225                               | 375,0                         | 369,0            | 225                                | 375,0                         | 369,0            |
| *Коэффициент использования NPK из почвы                                 | 0,20                              | 0,12                          | 0,40             | 0,20                               | 0,12                          | 0,40             |
| Использование NPK из почвы, кг/га                                       | 45,0                              | 45,0                          | 147,6            | 45,0                               | 45,0                          | 147,6            |
| Недостающее количество NPK в почве, кг/га                               | 220,3                             | 59,9                          | 136,2            | 209,1                              | 55,5                          | 124,3            |
| ** Коэффициент использования NPK вносимых туков (в год внесения)        | 0,7                               | 0,25                          | 0,7              | 0,7                                | 0,25                          | 0,7              |
| Необходимо внести NPK с туком, кг/га                                    | 315,0                             | 240,0                         | 195,0            | 299,0                              | 222,0                         | 178,0            |

Примечание: \*Коэффициент использования питательных веществ из почвы [59] лука составляет: N – 0,20-0,35; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,07-0,12; K<sub>2</sub>O – 0,09-0,40.

\*\*Коэффициент использования элементов питания растениями из минеральных удобрений: N – 0,5-0,7; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,2-0,25; K<sub>2</sub>O – 0,5-0,7 первый год действия.

Таблица 3.3.8 – Потребность лука репчатого сорта Манас в элементах питания

| № п.п.  | Культуры севооборота | Планируемая урожайность, т/га | Вынос 1 т урожая, кг |                               |                  | Вынос планируемым урожаем, кг/га |                               |                  |
|---|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
|   |                      |                               | N                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 1   | Соя                  | 2,45                          | 74,5                 | 18,9                          | 26,9             | 182,5                            | 46,3                          | 65,9             |
| 2   | Лук                  | 61,7                          | 4,3                  | 1,7                           | 4,6              | 265,3                            | 104,9                         | 283,8            |
| 3   | Картофель            | 35,2                          | 5,0                  | 2,0                           | 8,0              | 176,0                            | 70,4                          | 281,6            |
| 4   | *Пар                 | -                             | -                    | -                             | -                | -                                | -                             | -                |
| 5   | Соя                  | 2,45                          | 74,5                 | 18,9                          | 26,9             | 182,5                            | 46,3                          | 65,9             |
| Вынос в целом за севооборот (S), кг   |                      |                               |                      |                               |                  | 806,3                            | 267,9                         | 697,2            |
| Вынос с 1 га, кг  |                      |                               |                      |                               |                  | 161,3                            | 53,6                          | 139,4            |
| Обеспеченность элементами питания (класс)   |                      |                               |                      |                               |                  | V                                | IV                            | V                |
| Вносятся с органическими удобрениями, кг/га (заданная насыщенность на 1 га пашни)   |                      |                               |                      |                               |                  | нет                              | нет                           | нет              |
| Балансовые коэффициенты использования NPK из навоза за севооборот                   |                      |                               |                      |                               |                  | 70                               | 80                            | 120              |
| Использование NPK из навоза за ротацию севооборота с учетом Кб, кг/га               |                      |                               |                      |                               |                  | -                                | -                             | -                |
| Остаток N после бобовых (1/2 от выноса), кг/га                                      |                      |                               |                      |                               |                  | 44,1                             | -                             | -                |
| **Усвоено биологического азота, кг/га   |                      |                               |                      |                               |                  | 20,1                             | -                             | -                |
| Усвоено NPK в сумме (из навоза и биологического азота), кг/га                       |                      |                               |                      |                               |                  | 20,1                             | -                             | -                |
| Должно быть усвоено NPK из минеральных удобрений, кг/га                             |                      |                               |                      |                               |                  | 141,2                            | 53,6                          | 139,4            |
| ***Балансовые коэффициенты использования NPK из минеральных удобрений за севооборот |                      |                               |                      |                               |                  | 85                               | 75                            | 120              |
| Требуется минеральных удобрений с учетом Кб, кг/га                                  |                      |                               |                      |                               |                  | 166,1                            | 71,4                          | 116,2            |
| Насыщенность минеральными удобрениями, кг/га  |                      |                               |                      |                               |                  | 166,1                            | 71,4                          | 116,2            |
| Соотношение элементов питания   |                      |                               |                      |                               |                  | 2,3                              | 1,0                           | 1,6              |
| Потребность на площадь севооборота, кг  |                      |                               |                      |                               |                  | 71969                            | 31291                         | 114              |

Примечание: \* Расчет не проводился; \*\*Азот в почве накапливается 50% от выноса, а используется 50% от того, что находилось в почве;\*\*\*Коэффициент использования NPK из минеральных удобрений за севооборот в зависимости от эффективного плодородия почв, % [59] в среднем за ротацию в зависимости от класса почвы по содержанию калия и фосфора равен: N – 75-85; K<sub>2</sub>O – 110-120; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 55-75.

Таблица 3.3.9 – Потребность лука репчатого сорта Визион в элементах питания

| № п.п.  | Культуры севооборота | Планируемая урожайность, т/га | Вынос 1 т урожая, кг |                               |                  | Вынос планируемым урожаем, кг/га |                               |                  |
|---|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
|   |                      |                               | N                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 1   | Соя                  | 2,45                          | 74,5                 | 18,9                          | 26,9             | 182,5                            | 46,3                          | 65,9             |
| 2   | Лук (контроль)       | 59,1                          | 4,3                  | 1,7                           | 4,6              | 254,1                            | 100,5                         | 271,9            |
| 3   | Картофель            | 35,2                          | 5,0                  | 2,0                           | 8,0              | 176,0                            | 70,4                          | 281,6            |
| 4   | *Пар                 | -                             | -                    | -                             | -                | -                                | -                             | -                |
| 5   | Соя                  | 2,45                          | 74,5                 | 18,9                          | 26,9             | 182,5                            | 46,3                          | 65,9             |
| Вынос в целом за севооборот (S), кг   |                      |                               |                      |                               |                  | 795,1                            | 263,5                         | 685,3            |
| Вынос с 1 га, кг  |                      |                               |                      |                               |                  | 159,0                            | 52,7                          | 137,1            |
| Обеспеченность элементами питания (класс)   |                      |                               |                      |                               |                  | V                                | IV                            | V                |
| Вносятся с органическими удобрениями, кг/га (заданная насыщенность на 1 га пашни)   |                      |                               |                      |                               |                  | нет                              | нет                           | нет              |
| Балансовые коэффициенты использования NPK из навоза за севооборот (прил.6)          |                      |                               |                      |                               |                  | 70                               | 80                            | 120              |
| Использование NPK из навоза за ротацию севооборота с учетом Кб, кг/га               |                      |                               |                      |                               |                  |                                  |                               |                  |
| Остаток N после бобовых (1/2 от выноса), кг/га                                      |                      |                               |                      |                               |                  | 43,0                             |                               |                  |
| **Усвоено биологического азота, кг/га   |                      |                               |                      |                               |                  | 19,6                             |                               |                  |
| Усвоено NPK в сумме (из навоза и биологического азота), кг/га                       |                      |                               |                      |                               |                  | 19,6                             |                               |                  |
| Должно быть усвоено NPK из минеральных удобрений, кг/га                             |                      |                               |                      |                               |                  | 139,4                            | 52,7                          | 137,1            |
| ***Балансовые коэффициенты использования NPK из минеральных удобрений за севооборот |                      |                               |                      |                               |                  | 85                               | 75                            | 120              |
| Требуется минеральных удобрений с учетом Кб, кг/га                                  |                      |                               |                      |                               |                  | 164,0                            | 70,3                          | 114,2            |
| Насыщенность минеральными удобрениями, кг/га  |                      |                               |                      |                               |                  | 164,0                            | 70,3                          | 114,2            |
| Соотношение элементов питания   |                      |                               |                      |                               |                  | 2,3                              | 1                             | 1,6              |
| Потребность на площадь севооборота, кг/га   |                      |                               |                      |                               |                  | 70 819                           | 30 791                        | 112              |

Примечание: \* Расчет не проводился; \*\*Азот в почве накапливается 50% от выноса, а используется 50% от того, что находилось в почве;\*\*\*Коэффициент использования NPK из минеральных удобрений за севооборот в зависимости от эффективного плодородия почв, % [59] в среднем за ротацию в зависимости от класса почвы по содержанию калия и фосфора равен: N – 75-85; K<sub>2</sub>O – 110-120; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 55-75.

Таблица 3.3.10 – Потребность растений в элементах питания на один год в севообороте с луком репчатым сорта Манас

| Культура  | Планируемая урожайность, т/га               | Вынос элементов питания планируемым урожаем, кг/га |                               |   | Содержание в почве            |                  |  |                               | *Использование из почвы, кг/га |  |                               | Следует донести с удобрениями, кг/га |  |                               |                  |
|---|---|--|-------------------------------|---|-------------------------------|------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|------------------|
|   |   | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O                              | мг/кг                         |                  | кг/га  |                               | N                              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>              | K <sub>2</sub> O              | N                                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | K <sub>2</sub> O              |                  |
|   |   |  |                               |   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                        | K <sub>2</sub> O              |                                |  |                               |                                      |  |                               |                  |
| Соя   | 2,45  | 182,5  | 46,3                          | 65,9  | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 1,3  | 10,5                          |                  |
| Лук репка   | 61,7  | 265,3  | 104,9                         | 283,8   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | 76,3                                 | 59,9   | 228,4                         |                  |
| Картофель   | 35,2  | 176,0  | 70,4                          | 281,6   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 25,4   | 226,2                         |                  |
| Пар черный  | -   | -  | -                             | -   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         |                                | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    |  |                               |                  |
| Соя   | 2,45  | 182,5  | 46,3                          | 65,9  | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 1,3  | 10,5                          |                  |
| <i>Продолжение табл. 3.3.8.</i>   |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  |                               |                                      |  |                               |                  |
| Доза органических удобрений, т/га   | Вносится с органическими удобрениями, кг/га |  |                               | Используется из органических удобрений, кг/га |                               |                  | Требуется внести в виде минеральных удобрений, кг/га |                               |                                | Требуется минеральных удобрений с учетом** |                               |                                      | Требуется внести минеральных удобрений с учётом биологических особенностей |                               |                  |
|   | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                      | K <sub>2</sub> O              | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O               | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O                     | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Не вносились  |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 1,3                           | 10,5                           |  | 0,78                          | 2,1                                  |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | 76,3   | 59,9                          | 228,4                          | 45,8                                       | 8,9                           | 137,0                                |  | -                             | -                |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 25,4                          | 226,2                          |  | 12,7                          | 158,3                                |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  |                               |                                |  |                               |                                      |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 1,3                           | 10,5                           |  | 0,78                          | 2,1                                  |  |                               |                  |
| Насыщенность 1 га пашни элементами питания  |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  | 166,1                         | 71,4                                 | 116,2  |                               |                  |
| Соотношение элементов питания (N: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O) |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  | 2,3                           | 1                                    | 1,6  |                               |                  |

\*Коэффициент использования N, P, K из почвы (обобщенные данные) картофель - N – 0,20-0,35; K<sub>2</sub>O – 0,09-0,40; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,07-0,12; лук - N – 0,20-0,35; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,07-0,12; K<sub>2</sub>O – 0,09-0,40; соя - N – 0,30-0,45; K<sub>2</sub>O – 0,065-0,12; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,09-0,14. \*\*Коэффициент использования растениями питательных веществ из минеральных удобрений в первый год [59] составляет %: картофель - N – 50; K<sub>2</sub>O – 70; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 20; овощи - N – 60; K<sub>2</sub>O – 60; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 15; соя (данных нет прим. Рапс) - N – 70; K<sub>2</sub>O – 20; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 60.

Таблица 3.3.11 – Потребности растений в элементах питания на один год в севообороте с луком репчатым сорта Визион

| Культура  | Планируемая урожайность, т/га               | Вынос элементов питания планируемым урожаем, кг/га |                               |   | Содержание                    |                  | кг/га  |                               | *Использование из почвы, кг/га |  |                               | Следует донести с удобрениями, кг/га |  |                               |                  |
|---|---|--|-------------------------------|---|-------------------------------|------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|------------------|
|   |   | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O                              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                        | K <sub>2</sub> O              | N (нитр)                       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>              | K <sub>2</sub> O              | N                                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | K <sub>2</sub> O              |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  |                               |                                      |  |                               | мг/кг            |
| Соя   | 2,45  | 182,5  | 46,3                          | 65,9  | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 1,3  | 10,5                          |                  |
| Лук репка   | 59,1  | 254,1  | 100,5                         | 271,9   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | 65,1                                 | 55,5   | 216,5                         |                  |
| Картофель   | 35,2  | 176,0  | 70,4                          | 281,6   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 25,4   | 226,2                         |                  |
| Пар черный  | -   | -  | -                             | -   | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | -                              | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | -  | -                             |                  |
| Соя   | 2,45  | 182,5  | 46,3                          | 65,9  | 125                           | 123              | 375,0  | 369,0                         | 189,0                          | 45,0                                       | 55,4                          | -                                    | 1,3  | 10,5                          |                  |
| <i>Продолжение табл. 3.3.11</i>   |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  |                               |                                      |  |                               |                  |
| Доза органических удобрений, т/га   | Вносится с органическими удобрениями, кг/га |  |                               | Используется из органических удобрений, кг/га |                               |                  | Требуется внести в виде минеральных удобрений, кг/га |                               |                                | Требуется минеральных удобрений с учетом** |                               |                                      | Требуется внести минеральных удобрений с учётом биологических особенностей |                               |                  |
|   | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                      | K <sub>2</sub> O              | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O               | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O                     | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Не вносились  |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 1,3                           | 10,5                           |  | 0,78                          | 2,1                                  |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | 65,1   | 55,5                          | 216,5                          | 39,1                                       | 8,3                           | 129,9                                |  | -                             | -                |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 25,4                          | 226,2                          |  | 12,7                          | 158,3                                |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  | -                             | -                              | -  | -                             | -                                    |  |                               |                  |
|   |   |  |                               |   |                               |                  | -  | 1,3                           | 10,5                           |  | 0,78                          | 2,1                                  |  |                               |                  |
| Насыщенность 1 га пашни элементами питания  |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  | 164,0                         | 70,3                                 | 114,2  |                               |                  |
| Соотношение элементов питания (N: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O) |   |  |                               |   |                               |                  |  |                               |                                |  | 2,3                           | 1                                    | 1,6  |                               |                  |

\*Коэффициент использования N, P, K из почвы (обобщенные данные) картофель - N – 0,20-0,35; K<sub>2</sub>O – 0,09-0,40; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,07-0,12; лук - N – 0,20-0,35; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,07-0,12; K<sub>2</sub>O – 0,09-0,40; соя - N – 0,30-0,45; K<sub>2</sub>O – 0,065-0,12; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,09-0,14.

\*\*Коэффициент использования растениями питательных веществ из минеральных удобрений в первый год [59] составляет%: картофель - N – 50; K<sub>2</sub>O – 70; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 20; овощи - N – 60; K<sub>2</sub>O – 60; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 15; соя (данных нет прим. Рапс) - N – 70; K<sub>2</sub>O – 20; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 60.

На основе полученных результатов составлен баланс питательных веществ в севообороте. В приходной статье баланса учтено внесение азота с удобрением, азотификация (поглощение атмосферного азота и превращение его в органическую форму осуществляется свободно живущими почвенными микроорганизмами), выпадение с осадками и поливной водой, в расходную статью баланса включено отчуждение азота с урожаем и потери азота от денитрификации (процесс восстановления окисленных соединений азота до молекулярного азота это приводит к потере почвенного азота).

Обеспеченность почв азотом характеризуется как высокая (5 класс), при таком плодородии почв допускается отрицательный баланс (+10-0), а на исследуемом участке под сортом Манас баланс составил: - 10,5 кг д.в., на участке под сортом Визион баланс: - 14,9 кг д.в., данный критерий подтверждается интенсивностью баланса на участке под сортом Манас – 7 % и сорт Визион – 9 % к выносу, что позволяет отнести интенсивность к бездефицитному нулевому или поддерживающему балансу (табл.3.3.12).

Таблица 3.3.12 – Допустимые показатели баланса питательных элементов при плодородии почв, % к выносу [99].

| Элемент питания               | Плодородие почв по всем элементам |                   |                      |                   |                         |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
|                               | Низкое (1-2 классы)               | Среднее (3 класс) | Повышенное (4 класс) | Высокое (5 класс) | Очень высокое (6 класс) |
| N                             | +30-20                            | +30-20            | +10-20               | +10-0             | -20-0*                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | +150-130                          | +100-70           | +70-40               | +40-0             | -30-0*                  |
| K <sub>2</sub> O              | +50-30                            | +30-10            | -20*-0               | -20-40*           | -50-40*                 |

\*- Допускается отрицательный баланс

Баланс азота в почве севооборота под урожай лука репчатого сортов Манас и Визион равнялся – 10,5 кг д.в. и – 14,9 кг д.в., соответственно.

Потребление фосфора из почвы восполняется практически только за счет внесения удобрений. Баланс фосфора формируется проще, чем азота – в него вовлечены лишь почва, вода и растения. Поступление фосфора с удобрениями и

семенами определяется по химическому составу и нормам высева. Величина поступления от атмосферных осадков для фосфора не превышает 0,5 кг/га.

Для получения урожайности лука репчатого на уровне сорта Манас 61,7 т/га, сорта Визион – 59,1 т/га, картофеля – 35,2 т/га, сои – 2,45 т/га и выше необходимо поддерживать бездефицитный баланс питательных веществ (табл. 3.2.13).

Поступление калия с удобрениями и семенами определяется по химическому составу и нормам высева. Величина поступления с атмосферными осадками для калия колеблется в пределах 2-6 кг/га. Баланс калия на исследуемых участках отрицательный.

Таблица 3.3.13 – Баланс питательных веществ в севообороте с луком репчатым на 1 га д.в., кг

| Показатель                                   | Сорт Манас |                               |                  | Сорт Визион |                               |                  |
|--|------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
|  | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Вынос питательных веществ                    | 161,3      | 53,6                          | 139,4            | 159,0       | 52,7                          | 137,1            |
| Поступило в почву с минеральными удобрениями | 45,8       | 4,63                          | 58,5             | 39,1        | 4,51                          | 58,5             |
| с семенами                                   | 15         | -                             | -                | 15          | -                             | -                |
| биологический азот                           | 80         | -                             | -                | 80          | -                             | -                |
| с атмосферными осадками                      | 10         | 0,5                           | 6                | 10          | 0,5                           | 6                |
| Баланс, кг д.в. (±)                          | -10,5      | -48,5                         | -74,9            | -14,9       | -47,7                         | -72,6            |
| Интенсивность баланс, % к выносу(±)          | 7          | 91                            | 54               | 9           | 91                            | 53               |

Обеспеченность почв фосфором характеризуется как повышенная (4 класс). Такое плодородие почв не допускает отрицательный баланс, а на исследуемом участке под сортом Манас баланс: - 48,5 кг д.в., на участке под сортом Визион баланс: - 47,7 кг д.в., данный критерий подтверждается интенсивностью баланса на участках обоих сортов Манас и Визион и составляет 91 % к выносу, такая интенсивность не выходит за пределы допуска (+70-40) и относится к отрицательному или дефицитному балансу.

Обеспеченность обменным калием характеризуется как высокая и очень высокая (5 и 6 классы). При таких критериях допускается отрицательный баланс. На исследуемых участках под сортом Манас баланс составил: - 74,9 кг

д.в., на участке под сортом Визион баланс: - 72,6 кг д.в., данный критерий подтверждает интенсивность баланса на участках обоих сортов Манас и Визион и составляет соответственно 47 и 43 % к выносу, который практически не выходит за границу допуска (-20-40;) и относится к отрицательному или дефицитному балансу. Отрицательный баланс питательных элементов при разном плодородии почв обусловлен тем, что в почву не вносится органическое удобрение, что подтверждено расчетом баланса гумуса в почве, который по всем исследуемым годам отрицательный.

Любая почва способна поглощать и удерживать разнообразные вещества, приходящие с ней в соприкосновение. Важнейшую роль в этом процессе выполняет почвенный поглощающий комплекс (ППК). Ёмкость катионного обмена (ЕКО) является одной из основных характеристик почвенного поглощающего комплекса (ППК), чем выше величина ППК, тем больше удобрений задерживается в почве. Показатель ЕКО находится в прямой зависимости от гранулометрического состава почвы и рН почвенного раствора.

Выделяют категории поглощающей способности почв по величине ЕКО: очень низкая (ЕКО < 10 мг-экв/100 г); низкая (ЕКО = 10-15 мг-экв/100 г); средняя (ЕКО = 15-30 мг-экв/100 г); высокая (ЕКО > 30 мг-экв/100 г), чем выше величина ППК, тем больше удобрений задерживается в почве. Катионы обеспечивают важнейшую функцию почвы – удержание питательных элементов и сами они могут служить питанием для растений. Ёмкость катионного обмена на опытных полях меняется от средней до высокой. Поглощающая способность почв, по величине ЕКО установлена: на контрольном, фоновых участках + ФГ 2 и 4 т/га – средняя; на фоновом и фоновых +ФГ 6, 8, 10т/га – высокая (табл.3.1.14).

К важной характеристике ППК относится степень насыщенности основаниями – суммарное количество обменных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , выраженное в процентах от емкости поглощения. Оптимум его содержания – 80-90% от ЕКО.  $\text{Mg}^{2+}$  – магний всегда сопровождает кальций. Типичное соотношение  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} = 5:1$ . В таких количествах его действие аналогично действию кальция.

Таблица 3.3.14 – Физико-химические показатели почв на опытных участках выращивания лука репчатого, 2021 – 2023 гг.

| № п.п | Вариант  | Емкость катионного обмена, мг-экв/100 |      | S обм., мг/кг |      |      | Mg <sup>2+</sup> обм., ммоль/100 г |      |      | Ca <sup>2+</sup> обм., ммоль/100 г |      |      | Na <sup>+</sup> обм., ммоль/100 г |      | Плотность почвы, г/см <sup>3</sup> |
|-------|--|---------------------------------------|------|---------------|------|------|------------------------------------|------|------|------------------------------------|------|------|-----------------------------------|------|------------------------------------|
|       |  | 2021                                  | 2023 | 2021          | 2022 | 2023 | 2021                               | 2022 | 2023 | 2021                               | 2022 | 2023 | 2021                              | 2023 |                                    |
| 1     | Контроль   | 22                                    | 28,4 | 8             | 12,0 | 10   | 2,6                                | 3,3  | 2,0  | 12,5                               | 7,4  | 20,0 | 0,46                              | 0,05 | 1,48                               |
| 2     | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 22                                    | 42   | 8             | 12,0 | 12,0 | 2,6                                | 3,3  | 2,4  | 12,5                               | 7,4  | 12,5 | 0,46                              | 0,46 | 1,34                               |
| 3     | + ФГ 2 т/га  | 28                                    | 20   | 38            | 80,0 | 20   | 2,3                                | 2,5  | 1,9  | 18,2                               | 15,4 | 12,1 | 0,34                              | 0,34 | 1,32                               |
| 4     | + ФГ 4 т/га  | 24                                    | 22   | 77            | 115  | 64   | 2,2                                | 2,1  | 2,1  | 20,3                               | 19,2 | 13,0 | 0,31                              | 0,31 | 1,32                               |
| 5     | + ФГ 6 т/га  | 32                                    | 40   | 95            | 126  | 77   | 1,8                                | 3,0  | 1,8  | 20,8                               | 18,3 | 16,0 | 0,29                              | 0,29 | 1,31                               |
| 6     | + ФГ 8 т/га  | 36                                    | 43   | 102           | 145  | 95   | 2,0                                | 1,7  | 2,0  | 21,8                               | 24,0 | 16,5 | 0,26                              | 0,26 | 1,30                               |
| 7     | + ФГ 10 т/га                                       | 44                                    | 84   | 136           | 67,0 | 119  | 2,0                                | 1,9  | 2,4  | 24,5                               | 26,5 | 18,3 | 0,27                              | 0,32 | 1,30                               |

Особое внимание при орошении заслуживают мероприятия, предупреждающие ухудшение почвы в результате осолонцевания, засоления и заболачивания. Ведение орошаемого земледелия сопровождается не только благоприятными (рассоление, рассолонцевание, увлажнение), но и негативными (вторичное засоление, осолонцевание, ощелачивание) почвообразовательными процессами. Экологическая дисгармония почвенной среды может возникать в щелочных почвах при повышении количества магния в ППК за счет снижения содержания  $\text{Ca}^{2+}$ , т.е. при изменении соотношения  $\text{Ca}:\text{Mg}$  в сторону магния. В этом случае сам магний вызывает повышение щелочности в связи с присутствием в почвенной среде карбонатов и бикарбонатов магния. Содержание суммы кальция и магния от ЕКО во всех вариантах исследования ниже оптимума с колебанием от 25 % на опытном участке фон + ФГ 10 т/га до 64 % на контрольном участке, выше оптимума только на участке опыта фон + ФГ 4 т/га (табл. 3.1.15). По группировке почв по содержанию кальция и магния почвы в основном относятся к 4 группе – повышенное. По содержанию кальция на опытных участках с фон + ФГ 4 т/га (17,27 ммоль/100 г), фон + ФГ 6 т/га (18,25 ммоль/100г), по кальцию – высокое, фон + ФГ 8 т/га – очень высокое (20,5 ммоль/100 г). По содержанию магния на опытный участок фон + ФГ 8 т/га – среднее (1,17 ммоль/100 г). Типичное соотношение  $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}=5:1$  отмечено на контрольном участке, с закладкой опытов Фон+N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> и фон +ФГ 10т/га, на остальных опытных участках соотношение близко к 1:8 и только на участке с опытом фон+ФГ 8 т/га соотношение составляет 1:17. При увеличении соотношения  $\text{Ca}:\text{Mg}$  в сторону магния повышается щелочность, что связано с присутствием в почвенной среде карбонатов и бикарбонатов магния. Присутствие магния в ППК поддерживает свойства солонцеватости почв и даже приводит в отдельных случаях к образованию особых почв – магниевых солонцов.

При высоком содержании обменного магния (соотношение от 1:8 до 1:17) возрастает растворимость гумусовых веществ и ухудшается структура почвы, снижается водопроницаемость, что отрицательно сказывается на водном режиме. При повышенном содержании обменного магния усиливается отрицательное действие обменного натрия при невысоком содержании последнего в почве.

Таблица 3.3.15 – Средневзвешенные физико-химические показатели почвы на опытных участках выращивания  
лука репчатого

| №<br>п.п | Вариант  | рН(сол.) | Емкость ка-<br>тионного<br>обмена,<br>мг-экв/100 | S обм.<br>мг/кг | Азот<br>нитр.<br>мг/кг | Средневзвешенное содержание об-<br>менных содержаний элементов,<br>ммоль/100г |                  |                 | Плотность<br>почвы,<br>г/см <sup>3</sup> |
|----------|--|----------|--|-----------------|------------------------|---|------------------|-----------------|--|
|          |  |          |  |                 |                        | Mg <sup>2+</sup>  | Ca <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> |  |
| 1        | Контроль   | 6,2      | 25,45  | 9,99            | 7,6                    | 2,60  | 13,7             | 0,24            | 1,48                                     |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 6,8      | 34,40  | 11,25           | 8,4                    | 2,75  | 10,9             | 0,46            | 1,34                                     |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 7,5      | 23,68  | 44,60           | 10,0                   | 2,26  | 15,07            | 0,34            | 1,32                                     |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 7,3      | 22,92  | 84,14           | 11,5                   | 2,13  | 17,27            | 0,31            | 1,32                                     |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 7,4      | 36,32  | 98,10           | 16,1                   | 2,33  | 18,25            | 0,29            | 1,31                                     |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 7,4      | 39,78  | 112,90          | 16,5                   | 1,17  | 20,5             | 0,26            | 1,30                                     |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 7,4      | 65,59  | 108,34          | 16,6                   | 2,6   | 13,7             | 0,30            | 1,30                                     |

При высоком содержании магния, в почве, растения все равно могут испытывать его недостаток если соотношение в почвенном растворе Ca: Mg более 11, при этом магний легко вымывается из почвы. Уменьшение плодородия, вызванное недостатком кальция, связано со снижением содержания доступных для растений форм основных питательных элементов, уменьшением содержания гумуса и ухудшением его качества, снижением биологической активности и ухудшением физико-механических свойств почвы [4, 5, 6, 154].

Содержание суммы кальция и магния от ЕКО во всех вариантах исследования ниже оптимума с колебанием от 25 % на опытном участке фон + ФГ 10 т/га до 64 % на контрольном участке, выше оптимума только на участке опыта фон + ФГ 4 т/га. По содержанию кальция на опытных участках с фон + ФГ 4 т/га (17,27 ммоль/100 г), фон + ФГ 6 т/га (18,25 ммоль/100г), по кальцию – высокое, фон + ФГ 8 т/га – очень высокое (20,5 ммоль/100г). По содержанию магния на опытный участок фон + ФГ 8 т/га – среднее (1,17 ммоль/100 г). Типичное соотношение  $Ca^{2+}:Mg^{2+}=5:1$  отмечено на контрольном участке, с закладкой опытов Фон + N<sub>100</sub> P<sub>100</sub> K<sub>150</sub> и фон +ФГ 10 т/га, на остальных опытных участках соотношение близко к 1:8 и только на участке с опытом фон + ФГ 8 т/га соотношение составляет 1:17. При изменении соотношения Ca : Mg в сторону магния вызывает повышение щелочности в связи с присутствием в почвенной среде карбонатов и бикарбонатов магния. Присутствие магния в ППК поддерживает свойства солонцеватости почв и даже приводит в отдельных случаях к образованию особых почв – магниевых солонцов. При высоком содержании обменного магния (соотношение от 1:8 до 1:17) возрастает растворимость гумусовых веществ и ухудшается структура почвы, снижается водопроницаемость, что отрицательно сказывается на водном режиме. При повышенном содержании обменного магния усиливается отрицательное действие обменного натрия при невысоком содержании последнего в почве. По уровню потребности в сере все культуры можно разделить на три группы: высокотребовательные, среднетребовательные и малотребовательные. Наши культуры в севообороте относятся к малотребовательным культурам (12-15 кг/га).

Общее содержание серы в почве колеблется от 0,001 до 0,5 %. Содержание серы на опытных участках находится в прямой зависимости от внесенного в почву фосфогипса, где его содержание колеблется от 17,7 % до 20,6 %.

Концентрация доступной серы в среднем выше контрольного значения на 11-91 %. При её сочетании с внесением минерального удобрения ( $N_{100}P_{100}K_{150}$ ) – на 11 %, однако при сочетании с внесением различных доз фосфогипса на 29-91 %. Наименьшее содержание обменной серы в почве на контрольном участке 9,99 мг/кг почвы, наибольшее на опытном участке фон+ФГ 8т/га в количестве 112,9 мг/кг. Внесение фосфогипса существенно влияет на содержание серы обменной в почве, которое полностью обеспечивает сельскохозяйственные культуры на опытных участках.

Особое значение в обмене веществ растений имеет взаимное влияние серы и азота. Установлено, что в составе белка на 15 частей азота приходится 1 часть серы. Иными словами, недостаток 1 кг серы ограничивает усвоение 10-15 кг азота. Как правило, соотношение N: S в растении должно быть от 5:1 до 12:1. Соблюдено соотношение азота к сере только на опытных участках фон + ФГ 4-10 т/га, где соотношение колеблется от 6:1 до 8:1.

Результаты анализа водной вытяжки почв (табл. 3.3.16) опытных участков показали, что плотный остаток невысокий: на контрольном и фоновом +ФГ 2 т/га плотный остаток не превышает 0,1 %, в вариантах с увеличением внесения фосфогипса происходит увеличение плотного остатка от слабозасоленной с дозой фосфогипса 4 и 6 т/га (0,12 - 0,17 %) до средnezасоленной с дозой фосфогипса 8 и 10 т/га (0,20 - 0,24 %).

По степени засоления почва контрольного участка и на вариантах фон + ФГ 2,4,6 т/га слабозасоленная, на вариантах фон + ФГ 8 и 10 т/га – средnezасоленная. По химизму засоления в основном относятся к хлоридно-сульфатному «с участием соды» типу засоления (табл. 3.3.17).

Содержание иона  $CO_3^{2-}$  во всех вариантах более 0,03 ммоль/100 г, который является критерием при включении в название «с участием соды».

Таблица 3.3.16 – Результаты анализа водной вытяжки почвы участков выращивания лука репчатого

| №<br>п.п | Вариант  | Плотный<br>остаток,<br>% | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>ммоль/<br>100 г | Cl <sup>-</sup><br>ммоль/<br>100 г | Ca <sup>2+</sup> вод.<br>ммоль/<br>100 г | Mg <sup>2+</sup> вод.<br>ммоль/<br>100 г | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ,<br>ммоль/<br>100 г | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>ммоль/<br>100 г | K вод.<br>ммоль/<br>100 г | Na <sup>+</sup><br>вод.<br>ммоль/<br>100 г | Электро-<br>провод-<br>ность,<br>мСМ/см |
|----------|--|--------------------------|--|------------------------------------|--|--|--|--|---------------------------|--|---|
| 1        | Контроль   | 0,10                     | 0,5  | 0,35                               | 0,7                                      | 0,01                                     | 0,95   | 0,48   | 0,02                      | 0,21                                       | 0,1                                     |
| 2        | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,10                     | 0,5  | 0,35                               | 0,7                                      | 0,01                                     | 0,95   | 0,48   | 0,02                      | 0,21                                       | 0,1                                     |
| 3        | + ФГ 2 т/га  | 0,06                     | 0,2  | 0,37                               | 0,7                                      | 0,7                                      | 1,25   | 0,63   | 0,02                      | 0,16                                       | 0,1                                     |
| 4        | + ФГ 4 т/га  | 0,12                     | 0,4  | 0,34                               | 1,2                                      | 0,6                                      | 1,30   | 0,65   | 0,03                      | 0,15                                       | 0,3                                     |
| 5        | + ФГ 6 т/га  | 0,17                     | 0,8  | 0,32                               | 1,3                                      | 0,8                                      | 1,25   | 0,63   | 0,02                      | 0,17                                       | 0,3                                     |
| 6        | + ФГ 8 т/га  | 0,20                     | 1,2  | 0,36                               | 1,2                                      | 0,8                                      | 1,00   | 0,60   | 0,03                      | 0,16                                       | 0,3                                     |
| 7        | + ФГ 10 т/га                                       | 0,24                     | 1,6  | 0,40                               | 1,2                                      | 0,8                                      | 1,10   | 0,55   | 0,03                      | 0,16                                       | 0,3                                     |

Таблица 3.3.17 – Содержанию анионного состава и химизм засоления почв под участками лука репчатого

| № п. п | Вариант опыта                                      | рН вод. | Плотный остаток, % | Отношение ммоль, анионов               |                                      |   | Электропроводность, мСМ/см | Химизм (тип) засоления*                                |
|--------|--|---------|--------------------|--|--------------------------------------|---|----------------------------|--|
|        |  |         |                    | $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ | $\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$ | $\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ |                            |  |
| 1      | Контроль   | 6,9     | 0,10               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,1                        | Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»  |
| 2      | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 6,9     | 0,10               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,1                        | Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»  |
| 3      | + ФГ 2 т/га  | 8,2     | 0,06               | Более 2                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,1                        | Слабозасоленное хлоридное «с участием соды»            |
| 4      | + ФГ 4 т/га  | 7,8     | 0,12               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,3                        | Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»  |
| 5      | + ФГ 6 т/га  | 7,8     | 0,17               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,3                        | Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»  |
| 6      | + ФГ 8 т/га  | 7,8     | 0,20               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,3                        | Среднезасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды» |
| 7      | + ФГ 10 т/га                                       | 7,9     | 0,24               | 0,2-1,0                                | > 1                                  | < 1                                       | 0,3                        | Среднезасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды» |

Примечание: \* ионы  $\text{CO}_3^{2-}$  - менее 20 % суммы мг-экв. анионов, но более 0,03 мг-экв. на 100 г почвы, засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением в название «с участием соды».

### 3.4. Структурно-агрегатный состав почвы под луком репчатым в черноземной почве

Оценка структурного состояния почвы на опытных участках проведена на основании шкалы для оценки структурного состояния почвы (табл. 3.4.1.).

Таблица 3.4.1 – Шкала для оценки структурного состояния почвы [56]

| Содержание агрегатов 0,25-10мм, % от массы воздушно-сухой почвы |             | Оценка структурного состояния |
|---|-------------|-------------------------------|
| Воздушно сухих  | Водопрочных |                               |
| >80   | >70         | Отличное                      |
| 80-60   | 70-55       | Хорошее                       |
| 60-40   | 55-40       | Удовлетворительное            |
| 40-20   | 40-20       | Неудовлетворительное          |
| <20   | <20         | Плохое                        |

Приведенные в таблице 3.4.2 данные о содержании агрономических ценных агрегатов 0,25-10 мм, при «сухом» и «мокрым» просеивании свидетельствуют о том, что при «сухом» просеивании преобладают в основном легко- и средне глинистые почвы с преобладанием средне пылевато-мелкозернистой фракции. На основании приведенных данных, почву можно отнести к бесструктурной пылевой, с удовлетворительной оценкой структурного состояния. В фоновых образцах сильное снижение от оптимального значения содержания фракций от 0,25 мм до 10 мм. С внесением 4 т/га и 6 т/га фосфогипса улучшаются физические свойства почвы в сторону слабого снижения от оптимума, в остальных вариантах процентное содержание агрегатов 0,25-10 мм очень близко к слабому отклонению от оптимума. При сухом просеивании отмечается улучшение агрегатного состава почвы при внесении фосфогипса, который работает в качестве склеивающего вещества который способствует созданию агрономических ценных агрегатов 0,25-10 мм при дозе внесения 4 т/га и 6 т/га.

Результаты мокрого просеивания показывают, что с внесением фосфогипса почва во всех вариантах опыта обладает хорошей

водопрочностью, т.е. способностью противостоять размывающему действию воды, и соответственно, мало подвержена водной эрозии.

Таблица 3.4.2 – Оценка структурного состояния почвы

| Вариант  | Содержание агрегатов 0,25-10мм, % от массы воздушно-сухой почвы | Оценка структурного состояния | Содержание агрегатов 0,25-10мм, % от массы воздушно-сухой почвы | Оценка структурного состояния |
|--|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
|  | Сухое просеивание   |                               | Мокрое просеивание  |                               |
| Контроль   | 53,7  | удовлетворительное            | 40,6  | удовлетворительное            |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 53,7  | удовлетворительное            | 40,6  | удовлетворительное            |
| + ФГ 2 т/га  | 58,0  | удовлетворительное            | 55,0  | хорошее                       |
| + ФГ 4 т/га  | 65,0  | хорошее                       | 57,8  | хорошее                       |
| + ФГ 6 т/га  | 61,2  | хорошее                       | 59,6  | хорошее                       |
| + ФГ 8 т/га  | 56,8  | удовлетворительное            | 55,8  | удовлетворительное            |
| + ФГ 10 т/га                                       | 56,5  | удовлетворительное            | 55,2  | удовлетворительное            |

При внесении фосфогипса при норме 4 т/га и 6 т/га происходит улучшение структурного состояния почвы, увеличивается процент от массы воздушно - сухой почвы содержание агрегатов 0,25-10 мм за счет его действия, в результате которого происходит оструктуривание (склеивание), повышается водопроницаемость и доступность воздуха для корней растений. Кроме того, способствует повышению обмена газов между атмосферой и корнями растений. Улучшение структурного состояние почвы влечет за собой в этих же вариантах улучшается способность противостоять размывающему действию воды.

## 4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ФОСФОГИПСА НА АККУМУЛЯЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВОЙ И ЛУКОВИЦАМИ ЛУКА РЕПЧАТОГО

### 4.1. Влияние фосфогипса на накопления тяжелых металлов почвой под растениями лука репчатого сорта Визион

Обследование почвы на содержание ТМ выявило, что концентрация их подвижных и валовых форм в почве находится ниже норм ПДК и фоновых значений (таблица 4.1.1). Валовое содержание кадмия варьировало от 0,36-0,68 мг/кг, что ниже ПДК в 2,9-5,5 раз. Внесение фонового удобрения повышает данный показатель относительно контроля в 1,8-1,9 раз. Однако внесение фосфогипса во всех применяемых нормах уменьшает концентрацию кадмия, которая в среднем остается на уровне контроля или отличается на 0,01 мг/кг, что составляет 2,7 %.

Таблица 4.1.1 – Валовое содержание тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Визион по фазам развития, мг/кг

| Вариант  | Элемент |      |      |      |     |      |      |
|--|---------|------|------|------|-----|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn  | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,38    | 12,7 | 11,1 | 13,0 | 220 | 3230 | 14,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,68    | 10,1 | 10,7 | 17,0 | 215 | 4120 | 17,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,39    | 9,9  | 9,1  | 16,2 | 212 | 4111 | 15,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,39    | 9,8  | 9,2  | 16,1 | 212 | 4110 | 15,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,37    | 9,8  | 9,2  | 16,2 | 209 | 4111 | 15,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,39    | 9,2  | 9,2  | 16,6 | 208 | 4115 | 15,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,39    | 9,5  | 9,3  | 16,8 | 209 | 4220 | 15,0 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,38    | 12,7 | 11,0 | 12,5 | 218 | 3222 | 14,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,67    | 9,9  | 10,4 | 16,2 | 209 | 4115 | 15,0 |

| Вариант  | Элемент |       |      |      |       |       |      |
|--|---------|-------|------|------|-------|-------|------|
|  | Cd      | Pb    | Cu   | Zn   | Mn    | Fe    | Ni   |
| + ФГ 2 т/га  | 0,39    | 9,9   | 9,0  | 15,4 | 204   | 4050  | 14,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,39    | 9,8   | 9,1  | 15,2 | 204   | 4050  | 14,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,39    | 9,8   | 9,1  | 15,2 | 204   | 4060  | 14,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,39    | 9,3   | 9,1  | 15,4 | 207   | 4060  | 13,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,39    | 9,5   | 9,3  | 15,6 | 208   | 4115  | 14,0 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |       |      |      |       |       |      |
| Контроль   | 0,37    | 12,6  | 10,6 | 12,1 | 210   | 3100  | 14,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,65    | 11,7  | 9,8  | 15,3 | 205   | 4111  | 15,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,38    | 10,8  | 8,8  | 15,2 | 202   | 3982  | 14,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,38    | 10,8  | 8,4  | 15,1 | 202   | 3900  | 14,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,37    | 10,6  | 8,4  | 15,1 | 202   | 3900  | 14,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,37    | 10,2  | 8,6  | 15,4 | 205   | 3900  | 13,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,38    | 10,4  | 8,8  | 15,5 | 206   | 4110  | 15,0 |
| Начало созревания луковицы                         |         |       |      |      |       |       |      |
| Контроль   | 0,37    | 12,5  | 10,4 | 11,8 | 215   | 3090  | 13,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,65    | 11,4  | 9,6  | 14,2 | 202   | 4100  | 14,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,37    | 10,3  | 8,4  | 14,4 | 194   | 3200  | 13,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,37    | 9,7   | 8,2  | 14,4 | 194   | 3200  | 12,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,37    | 10,5  | 8,4  | 14,8 | 194   | 3350  | 12,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,38    | 10,0  | 8,4  | 14,8 | 198   | 3320  | 12,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,37    | 10,4  | 8,6  | 15,2 | 198   | 3600  | 14,0 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |       |      |      |       |       |      |
| Контроль   | 0,36    | 12,5  | 9,8  | 11,2 | 210   | 3000  | 11,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,64    | 11,2  | 9,4  | 13,4 | 195   | 4050  | 14,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,36    | 10,2  | 8,4  | 13,0 | 181   | 3100  | 12,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,36    | 10,5  | 8,2  | 13,0 | 181   | 3100  | 12,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,36    | 10,4  | 8,4  | 13,0 | 185   | 3100  | 12,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,36    | 10,9  | 8,4  | 13,2 | 185   | 3100  | 12,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,36    | 10,0  | 8,0  | 14,0 | 191   | 3500  | 14,0 |
| ФОН [111]  | 0,66    | 13,40 | 26,5 | 75,5 | 687,7 | 33592 | 28,2 |
| ПДК [111]  | 2       | 32    | 55   | 100  | 1500  | -     | 85   |

Концентрация свинца в почве не превышала ПДК (ниже в 3,5-14 раз) и составила от 9,2 до 12,7 мг/кг. При применении минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  валовое содержание металла уменьшается в среднем на 7-22 %. Внесение в почву фосфогипса дополнительно уменьшает концентрацию свинца. Относительно фона снижение составило до 15 %, а по сравнению с контролем валовое содержание свинца в почве было на 13-28 % ниже. Наибольший эффект выявлен на вариантах с внесением 8 т ФГ на га, за исключением фаз начала созревания и технической спелости лука, где минимальная концентрация свинца была на варианте с дозой фосфогипса в 4 и 10 т/га, соответственно.

Содержание меди в почве было от 8,0 до 11,1 мг/кг и ниже ПДК в 5-7 раз. Наибольшие значения получены на контрольном варианте во все фазы развития лука. Внесение фонового удобрения повлияло на концентрацию металла в сторону снижения на 3,6-7,7 %. С применением фосфогипса тенденция к уменьшению меди в почве сохраняется: на вариантах с внесением мелиоранта валовое содержание меди снизилось на 1,4-2,2 мг/кг или на 14-21% относительно контроля.

В изучаемых образцах почвы валовое содержание цинка находилось в пределах 11,2-17,0 мг/кг. Удобрения и ФГ повышали концентрацию металла, однако на всех вариантах опыта значения не превышали ПДК и были ниже установленных значений в 6-9 раз. На фоне минеральных удобрений  $N_{100}P_{100}K_{150}$  количество цинка увеличивается на 2,2-4,0 мг/кг или на 20-31 % по сравнению с контролем. Внесение ФГ в основном снижает концентрацию металла относительно фона (за исключением фазы начала созревания луковичи). При этом в сравнении с контролем валовое содержание цинка увеличивается в среднем на 16-29 %. Таким образом, самые низкие концентрации металла – на контрольном варианте, а максимальные значения – на вариантах ФОН и ФОН + ФГ 10 т/га.

Концентрация марганца варьировала от 181-220 мг/кг. Значения ниже ПДК в 6,8-8,3 раза. Фоновое удобрение повлияло на валовое содержание металла в почве следующим образом: на протяжении всего вегетационного периода развития лука происходило снижение количества марганца относительно контроля на 2,3-7,1 %. Применение фосфогипса во всех дозах совместно с минеральными удобрениями  $N_{100}P_{100}K_{150}$  способствовало еще большему уменьшению концентрации марганца. Разница составила 2,0-13,8 % по сравнению с контрольным вариантом и до 7,2 %. Концентрация марганца, больше чем на варианте ФОН на 1 мг/кг (0,5%) была только в фазу начала активного роста луковицы с применением 10 т ФГ на га. В целом, можно отметить, что при внесении ФГ валовое содержание марганца в почве уменьшается как относительно контроля, так и по сравнению с фоном удобрений.

Валовое содержание железа оказалось в пределах 3000-4220 мг/кг, что ниже регионального фонового значения в 8-11 раз. Минимальные значения, равные 3000-3230 мг/кг получены на контрольном варианте. Внесение как минеральных удобрений, так и совместно с фосфогипсом способствует повышению концентрации железа в почве не зависимо от фазы развития лука и дозы фосфогипса. Однако, наибольшее количество металла – на варианте ФОН за исключением фазы образования 5 листа, где максимальное значение было на варианте ФОН + ФГ 10 т/га (4220 мг/кг). Разница с контролем составила 31%. В среднем, минеральное удобрение  $N_{100}P_{100}K_{150}$  повышает концентрацию железа относительно контроля на 27,6-35,0 %, а фосфогипс на 26-31 % в период фазы образования 5 листа-начало активного роста луковицы и на 3,3-17,0 % в период начала созревания и до технической спелости лука.

Никель в изучаемой почве содержался в количествах, не превышающих ПДК. Концентрация металла составила 11,0-17,0 мг/кг, что ниже предельно допустимых значений в 5-7,7 раз. Минимальные значения, в основном, были получены на контрольном варианте. Фоновое удобрение повышало концентрацию никеля в почве на 7-27 %, а при внесении фосфогипса превышение

относительно контроля составило до 27 %. Однако, в фазу образования луковицы содержание никеля при внесении ФГ не отличается от контрольных значений, в фазу активного роста луковицы, фосфогипс в дозах 2, 4 и 6 т/га не повлиял на изменение концентрации металла, а в фазу начала созревания луковицы внесение фосфогипса в нормах 4-8 т/га даже снизило на 8 % содержание никеля по сравнению с контролем.

В течение всего вегетационного периода были отмечены следующие закономерности: внесение фонового удобрения, а также совместно с фосфогипсом во всех нормах применения в основном повышало концентрацию кадмия, цинка, железа и никеля, а снижало содержание меди, свинца и марганца относительно контроля. Фосфогипс в норме 2 т/га не повлиял на концентрацию кадмия в начале созревания и технической спелости лука, а также на концентрацию никеля в фазы образования 5 листа, активного роста луковицы и начала созревания. Внесение ФГ в дозе 4 т/га не повлияло на изменение концентрации кадмия (в начале созревания и к наступлению технической спелости лука) и никеля (фазы образования луковицы и активного роста) относительно контроля. На этом варианте также наблюдалось снижение содержания никеля в фазу начала созревания лука. Аналогичная тенденция проявилась и при применении фосфогипса в дозе 6 т/га. Увеличение нормы внесения мелиоранта до 8 т/га сохранило общую закономерность, но на стадии активного роста и технической спелости луковицы содержание кадмия осталось равным контролю, а в фазы образования луковицы, активного роста и начала созревания происходило снижение концентрации никеля по сравнению с контролем. Максимальная доза внесения фосфогипса (10 т/га) не повлияла на изменение валового содержания кадмия в фазу начала созревания и технической спелости лука, а также на концентрацию никеля в фазу образования луковицы.

В целом, наблюдается снижение валового содержания всех металлов в почве в течение вегетационного периода. С каждым наступлением новой фазы развития лука значения концентраций элементов не изменялись или уменьша-

лись. Исключение составили показатели концентрации свинца в период образования луковицы – начало активного роста луковицы, где происходило увеличение содержания свинца в почве.

Для кадмия посчитан коэффициент концентрации Кк, так как его концентрация выше значения кларка и элемент накапливается в почве. Для остальных посчитан коэффициент рассеяния Кр, так как значения валового содержания этих металлов (Pb, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni) ниже их кларков в земной коре (таблица 4.1.2). Значения Кк и Кр приведены в таблице в числителе дроби, а рассчитанные значения Кс – в знаменателе.

Таблица 4.1.2 – Коэффициенты концентрации и рассеяния тяжелых металлов при различных дозах внесения фосфогипса, 2021-2023 гг.

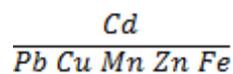
| Вариант  | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| Образование 5-го листа                             |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | $\frac{2,92}{0,58}$ | $\frac{1,26}{0,95}$ | $\frac{4,23}{0,42}$ | $\frac{6,38}{0,17}$ | $\frac{4,55}{0,32}$ | $\frac{14,40}{0,10}$ | $\frac{4,14}{0,50}$ |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | $\frac{5,23}{1,03}$ | $\frac{1,58}{0,75}$ | $\frac{4,39}{0,40}$ | $\frac{4,88}{0,23}$ | $\frac{4,65}{0,31}$ | $\frac{11,29}{0,12}$ | $\frac{3,41}{0,60}$ |
| + ФГ 2 т/га  | $\frac{3,00}{0,59}$ | $\frac{1,62}{0,74}$ | $\frac{5,16}{0,34}$ | $\frac{5,12}{0,21}$ | $\frac{4,72}{0,31}$ | $\frac{11,31}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 4 т/га  | $\frac{3,00}{0,59}$ | $\frac{1,63}{0,73}$ | $\frac{5,11}{0,35}$ | $\frac{5,16}{0,21}$ | $\frac{4,72}{0,31}$ | $\frac{11,31}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 6 т/га  | $\frac{2,85}{0,56}$ | $\frac{1,63}{0,73}$ | $\frac{5,11}{0,35}$ | $\frac{5,12}{0,21}$ | $\frac{4,78}{0,30}$ | $\frac{11,31}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 8 т/га  | $\frac{3,00}{0,59}$ | $\frac{1,74}{0,69}$ | $\frac{5,11}{0,35}$ | $\frac{5,00}{0,22}$ | $\frac{4,81}{0,30}$ | $\frac{11,30}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 10 т/га                                       | $\frac{3,00}{0,59}$ | $\frac{1,68}{0,71}$ | $\frac{5,05}{0,35}$ | $\frac{4,94}{0,22}$ | $\frac{4,78}{0,30}$ | $\frac{11,02}{0,13}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| Образование луковицы                               |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | $\frac{2,92}{0,58}$ | $\frac{1,26}{0,95}$ | $\frac{4,27}{0,42}$ | $\frac{6,64}{0,17}$ | $\frac{4,59}{0,32}$ | $\frac{14,43}{0,10}$ | $\frac{4,14}{0,50}$ |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | $\frac{5,15}{1,02}$ | $\frac{1,62}{0,74}$ | $\frac{4,52}{0,39}$ | $\frac{5,12}{0,21}$ | $\frac{4,78}{0,30}$ | $\frac{11,30}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |

| Вариант  | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| + ФГ 2 т/га  | <u>3,00</u><br>0,59 | <u>1,62</u><br>0,74 | <u>5,22</u><br>0,34 | <u>5,39</u><br>0,20 | <u>4,90</u><br>0,30 | <u>11,48</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>3,00</u><br>0,59 | <u>1,63</u><br>0,73 | <u>5,16</u><br>0,34 | <u>5,46</u><br>0,20 | <u>4,90</u><br>0,30 | <u>11,48</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>3,00</u><br>0,59 | <u>1,63</u><br>0,73 | <u>5,16</u><br>0,34 | <u>5,46</u><br>0,20 | <u>4,90</u><br>0,30 | <u>11,45</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>3,00</u><br>0,59 | <u>1,72</u><br>0,69 | <u>5,16</u><br>0,34 | <u>5,39</u><br>0,20 | <u>4,83</u><br>0,30 | <u>11,45</u><br>0,12 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>3,00</u><br>0,59 | <u>1,68</u><br>0,71 | <u>5,05</u><br>0,35 | <u>5,32</u><br>0,21 | <u>4,81</u><br>0,30 | <u>11,30</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| Начало активного роста луковицы                    |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,27</u><br>0,94 | <u>4,43</u><br>0,40 | <u>6,86</u><br>0,16 | <u>4,76</u><br>0,31 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>5,00</u><br>0,98 | <u>1,37</u><br>0,87 | <u>4,80</u><br>0,37 | <u>5,42</u><br>0,20 | <u>4,88</u><br>0,30 | <u>11,31</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>2,92</u><br>0,58 | <u>1,48</u><br>0,81 | <u>5,34</u><br>0,33 | <u>5,46</u><br>0,20 | <u>4,95</u><br>0,29 | <u>11,68</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>2,92</u><br>0,58 | <u>1,48</u><br>0,81 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,50</u><br>0,20 | <u>4,95</u><br>0,29 | <u>11,92</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,51</u><br>0,79 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,50</u><br>0,20 | <u>4,95</u><br>0,29 | <u>11,92</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,57</u><br>0,76 | <u>5,47</u><br>0,32 | <u>5,39</u><br>0,20 | <u>4,88</u><br>0,30 | <u>11,92</u><br>0,12 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>2,92</u><br>0,58 | <u>1,54</u><br>0,78 | <u>5,34</u><br>0,33 | <u>5,35</u><br>0,21 | <u>4,85</u><br>0,30 | <u>11,31</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| Начало созревания луковицы                         |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,28</u><br>0,93 | <u>4,52</u><br>0,39 | <u>7,03</u><br>0,16 | <u>4,65</u><br>0,31 | <u>15,05</u><br>0,09 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>5,00</u><br>0,98 | <u>1,40</u><br>0,85 | <u>4,90</u><br>0,36 | <u>5,85</u><br>0,19 | <u>4,95</u><br>0,29 | <u>11,34</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,55</u><br>0,77 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,76</u><br>0,19 | <u>5,15</u><br>0,28 | <u>14,53</u><br>0,10 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,65</u><br>0,72 | <u>5,73</u><br>0,31 | <u>5,76</u><br>0,19 | <u>5,15</u><br>0,28 | <u>14,53</u><br>0,10 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,52</u><br>0,78 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,61</u><br>0,20 | <u>5,15</u><br>0,28 | <u>13,88</u><br>0,10 | <u>4,83</u><br>0,43 |

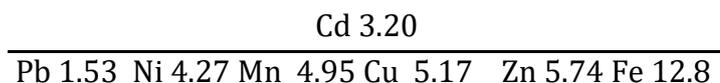
| Вариант  | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| + ФГ 8 т/га  | <u>2,92</u><br>0,58 | <u>1,60</u><br>0,75 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,61</u><br>0,20 | <u>5,05</u><br>0,29 | <u>14,01</u><br>0,10 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>2,85</u><br>0,56 | <u>1,54</u><br>0,78 | <u>5,47</u><br>0,32 | <u>5,46</u><br>0,20 | <u>5,05</u><br>0,29 | <u>12,92</u><br>0,11 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| Техническая спелость луковицы                      |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,28</u><br>0,93 | <u>4,80</u><br>0,37 | <u>7,41</u><br>0,15 | <u>4,76</u><br>0,31 | <u>15,50</u><br>0,09 | <u>5,27</u><br>0,39 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>4,92</u><br>0,97 | <u>1,43</u><br>0,84 | <u>5,00</u><br>0,35 | <u>6,19</u><br>0,18 | <u>5,13</u><br>0,28 | <u>11,48</u><br>0,12 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,57</u><br>0,76 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>5,52</u><br>0,26 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,52</u><br>0,78 | <u>5,73</u><br>0,31 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>5,52</u><br>0,26 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,54</u><br>0,78 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>5,41</u><br>0,27 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,47</u><br>0,81 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>6,29</u><br>0,17 | <u>5,41</u><br>0,27 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>2,77</u><br>0,55 | <u>1,60</u><br>0,75 | <u>5,88</u><br>0,30 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>5,24</u><br>0,28 | <u>13,29</u><br>0,10 | <u>4,14</u><br>0,50 |

Значения коэффициента концентрации кадмия равнялся 2,77-5,23. Для остальных изученных металлов был рассчитан коэффициент рассеяния (Кр). Для свинца Кр был самым низким и приближался к единице, значения варьировали от 1,26 до 1,74. Далее по увеличению Кр расположился никель, его коэффициент рассеяния составил от 3,41 до 5,27. Относительное содержание меди, марганца и цинка по сравнению кларком этих элементов в земной коре оказалось близким друг к другу и равнялось: для меди Кр=4,23-5,88, цинка Кр=4,88-7,41, марганца - 4,55-5,52. Самым рассеивающимся элементом оказалось железо, его Кр составил от 11,02 до 15,50.

На вариантах опыта контроль и фон расположение элементов согласно рассчитанным коэффициентам концентрирования и рассеяния одинаковое, и геохимический индекс можно представить следующим образом:



С внесением в почву ФГ меняются концентрации металлов в почве, и как следствие, изменяются значения Кр и последовательность металлов. Так, значения коэффициента рассеяния марганца в большинстве случаев становится меньше, чем у меди. На стадии образования 5 листа при внесении 2, 8 и 10 т/га ФГ, в фазу начала активного роста луковицы при внесении 4-8 т/га медь становится более рассеиваемым элементом, чем марганец и цинк. Последовательность элементов по убыванию их концентрации относительно кларка земной коры можно представить в этом случае следующим образом: Cd - Pb - Ni - Mn - Zn - Cu - Fe. На остальных вариантах опыта во все фазы развития лука последовательность элементов: Cd - Pb - Ni - Mn - Cu - Zn - Fe. Данная закономерность подтверждается средними значениями Кр, и составленный геохимический индекс:



Значения относительных концентраций металлов (Кс) позволило определить, какие элементы накапливаются, а какие рассеиваются по сравнению с фоновым региональным значением валового содержания металлов в почве. Для кадмия  $K_c = 0,55-1,03$ , для свинца –  $0,69-0,95$ , следовательно, они не накапливаются и не рассеиваются, их концентрации оказались близкими к фоновому содержанию в почвах Самарской области. По предложению И.С. Михайлова с соавторами (1967 г) в ассоциацию рассеиваемых элементов следует отнести те, Кс которых ниже 0,5, а в ассоциацию накапливаемых - с  $K_c > 1,5$ . Содержание элементов, относительная концентрация которых колебалась в пределах 0,5-1,5, считается близким к фоновому содержанию. Значения Кс никеля близко к 0,50 и равнялось от 0,39 до 0,60. Поэтому никель в некоторых случаях является рассеиваемым элементом. Остальные металлы (Cu, Mn, Zn, Fe) содержатся в почве в меньших количествах, чем установленное фоновое значение составляют ассоциацию рассеиваемых элементов. Для

меди Кс составило 0,30-0,42, у марганца значения относительной концентрации колеблется от 0,26 до 0,32, у цинка – 0,15-0,23. Самый рассеивающийся элемент - железо, его Кс равнялось 0,09-0,13.

Анализируя полученные данные, можно составить геохимический индекс, который повторяется во всех вариантах опыта, кроме ФОН:

$$Pb \ Cd \ Ni \frac{1}{Cu \ Mn \ Zn \ Fe}$$

Однако, с начала созревания и технической спелости лука на вариантах опыта контроль и при внесении от 2 до 6 т/га ФГ, а также при внесении 8 т/га ФГ начиная с фазы образования луковицы концентрация никеля снижается, и Кс становится меньше 0,5. Никель переходит в ассоциацию рассеивающихся элементов и ряд выглядит следующим образом:

$$Pb \ Cd \ \frac{1}{Ni \ Cu \ Mn \ Zn \ Fe}$$

На варианте ФОН относительная концентрация кадмия становится выше, чем у свинца, а Кс никель во все фазы развития >0,5 и ряд меняется:

$$Cd \ Pb \ Ni \ \frac{1}{Cu \ Mn \ Zn \ Fe}$$

В целом, можно отметить, что свинец и кадмий всегда составляют ассоциацию элементов с близкими значениями концентрации к фоновому содержанию этих элементов, в то время как никель, медь, марганец, цинк и железо составляют ассоциацию рассеивающихся элементов. По средним значениям коэффициента Кс можно записать геохимический индекс:

$$Pb \ 0.79 \ Cd \ 0.63 \ = \ \frac{1}{Ni \ 0.49 \ Cu \ 0.35 \ Mn \ 0.30 \ Zn \ 0.19 \ Fe \ 0.11}$$

Концентрация подвижных форм всех изучаемых металлов находилась значительно ниже ПДК: кадмия в 43-83 раза, свинца в 17-27 раз, меди в 10-30 раз, цинка в 24-46 раз, марганца в 3-12 раз, никеля в 9-13 раз ниже ПДК. Для железа нет установленных значений предельно допустимых концентраций (табл. 4.1.3).

Таблица 4.1.3 – Содержание подвижной формы тяжелых металлов  
(экстрагент ацетатно-аммонийный буфер рН 4,8)  
в почве под участками лука репчатого сорта Визион по фазам развития, мг/кг

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,038   | 0,36 | 0,27 | 0,82 | 11,4 | 6,36 | 0,36 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,046   | 0,32 | 0,20 | 0,60 | 19,0 | 7,44 | 0,46 |
| +ФГ 2 т/га   | 0,042   | 0,31 | 0,28 | 0,90 | 24,0 | 7,22 | 0,44 |
| +ФГ 4 т/га   | 0,040   | 0,31 | 0,28 | 0,90 | 24,0 | 7,20 | 0,44 |
| +ФГ 6 т/га   | 0,040   | 0,31 | 0,28 | 0,90 | 24,0 | 7,20 | 0,44 |
| +ФГ 8 т/га   | 0,040   | 0,31 | 0,28 | 0,91 | 29,0 | 7,45 | 0,43 |
| +ФГ 10 т/га  | 0,041   | 0,34 | 0,29 | 0,91 | 31,0 | 7,55 | 0,45 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,030   | 0,35 | 0,25 | 0,62 | 9,4  | 5,34 | 0,33 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,033   | 0,31 | 0,16 | 0,50 | 18,0 | 6,42 | 0,45 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,041   | 0,31 | 0,13 | 0,79 | 21,0 | 6,68 | 0,43 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,038   | 0,31 | 0,13 | 0,78 | 21,0 | 6,68 | 0,43 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,038   | 0,31 | 0,14 | 0,78 | 21,0 | 6,64 | 0,43 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,038   | 0,31 | 0,16 | 0,77 | 28,0 | 6,66 | 0,40 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,036   | 0,33 | 0,19 | 0,79 | 29,0 | 6,82 | 0,44 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,030   | 0,32 | 0,23 | 0,98 | 9,40 | 4,96 | 0,32 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,031   | 0,29 | 0,14 | 0,85 | 17,5 | 4,86 | 0,42 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,040   | 0,28 | 0,11 | 0,94 | 20,0 | 4,98 | 0,42 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,034   | 0,28 | 0,11 | 0,94 | 20,0 | 4,93 | 0,42 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,034   | 0,28 | 0,11 | 0,94 | 20,0 | 4,92 | 0,42 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,034   | 0,27 | 0,13 | 0,95 | 25,0 | 4,98 | 0,41 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,035   | 0,28 | 0,17 | 0,96 | 28,0 | 5,10 | 0,43 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,024   | 0,29 | 0,22 | 0,91 | 8,90 | 4,82 | 0,31 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,030   | 0,28 | 0,13 | 0,81 | 17,0 | 4,64 | 0,38 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,24 | 0,10 | 0,87 | 20,0 | 4,64 | 0,37 |

| Вариант  | Элемент |      |      |      |       |      |      |
|--|---------|------|------|------|-------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn    | Fe   | Ni   |
| + ФГ 4 т/га  | 0,033   | 0,24 | 0,10 | 0,88 | 20,0  | 4,62 | 0,36 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,033   | 0,24 | 0,10 | 0,87 | 21,0  | 4,64 | 0,35 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,033   | 0,24 | 0,10 | 0,85 | 24,0  | 4,71 | 0,34 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,034   | 0,26 | 0,15 | 0,86 | 25,0  | 4,86 | 0,41 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 0,028   | 0,25 | 0,22 | 0,88 | 8,40  | 4,48 | 0,30 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,036   | 0,24 | 0,13 | 0,78 | 14,0  | 4,32 | 0,35 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,22 | 0,10 | 0,74 | 19,0  | 4,32 | 0,33 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,035   | 0,22 | 0,10 | 0,74 | 19,0  | 4,36 | 0,33 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,033   | 0,22 | 0,10 | 0,74 | 19,0  | 4,34 | 0,32 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,033   | 0,26 | 0,10 | 0,75 | 20,0  | 4,58 | 0,32 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,033   | 0,26 | 0,14 | 0,81 | 24,0  | 4,44 | 0,34 |
| ФОН [111]  | 0,04    | 2,3  | 3    | 24,9 | 493,1 | 7,67 | 6,55 |
| ПДК [111]  | 2       | 6    | 3    | 23   | 100   | -    | 4,0  |

Содержание подвижных форм кадмия находилось в пределах 0,024-0,046 мг/кг. Внесение фонового удобрения в дозе N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> повышает концентрацию металла относительно контроля от 3,3 до 29%. При внесении фосфогипса концентрация кадмия в почве увеличивается на 5 – 10 % а фазу образования 5 листа, а в период образования луковицы и до технической спелости лука от 13 до 46 %. Максимальные значения концентрации подвижных форм кадмия выявлены на фоновом варианте в фазу образования 5 листа (0,046 мг/кг) и в фазу технической спелости луковицы (0,036 мг/кг). В остальные периоды развития лука наибольшая концентрация металла в почве была на варианте ФОН +ФГ 2 т/га – 0,035-0,041 мг/кг, что в 1,3-1,5 раза превышает контроль.

Концентрация подвижных форм свинца варьировала от 0,22 до 0,36 мг/кг. Во все фазы развития лука, кроме технической спелости, наиболь-

шее содержание металла в почве было на контрольном варианте. В фазу технической спелости лука максимальные значения выявлены на вариантах, где внесено 8 и 10 т фосфогипса на га – концентрация свинца превышала контроль и фон 4,0 и 8,3 %, соответственно. В среднем, минеральные удобрения снижали концентрацию свинца на 3,4 – 11 % в сравнении с контрольным вариантом, а внесение ФГ в основном снижало концентрацию подвижного свинца до 11-17 % относительно контроля. Среди всех вариантов опыта с внесением ФГ наибольшая концентрация свинца выявлена при дозе ФГ 10 т/га.

Содержание подвижных форм меди в опыте было в диапазоне 0,10-0,29 мг/кг. Наибольшее количество в фазу 5 листа, начала активного роста и начала созревания луковицы отмечено на варианте опыта ФОН +ФГ 10 т/га, что превышало контроль на 7,4-17,4 %. В фазу образования луковицы и к наступлению технической спелости лука максимальные значения оказались на контроле – 0,25 и 0,22 мг/кг, соответственно. Внесение только минеральных удобрений на протяжении всего вегетационного периода снижало концентрацию подвижной меди в 1,4-1,7 раз. Внесение фосфогипса в фазу образования 5 листа привело к возрастанию концентрации меди в почве на 0,01-0,02 мг/кг (3,7-7,4 %), а в остальной период развития лука в основном снижало содержание меди на 9-48 % по сравнению с контролем. Исключением был вариант опыта ФОН + ФГ 10 т/га в фазы начала активного роста и созревания луковицы, где превышение относительно контроля составило 17 и 14 %, соответственно.

В исследуемых образцах почвы количество подвижных форм цинка варьировало от 0,50 до 0,98 мг/кг, самые низкие значения отмечены на фоне удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  0,50-0,85 мг/кг, что ниже контроля на 11-27 %. При внесении ФГ в период образования 5 листа – образование луковицы происходило увеличение концентрации цинка относительно контроля на 10-27 % и на 50-58 % по сравнению с фоновым вариантом. С начала активного роста луковицы и до наступления технической спелости наибольшие концентрации металла вы-

явлены на контрольном варианте и при внесении ФГ происходит снижение количества подвижных форм цинка по сравнению с контролем на 2-16 %. Применение только фонового удобрения в этот период приводит к уменьшению содержания цинка на 11-13 %.

Содержание марганца было от 8,4 до 31,0 мг/кг. Были выявлены следующие закономерности накопления металла в почве: минимальные значения получены на контрольном варианте в течение всего вегетационного периода. Внесение минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  повышало концентрацию марганца в 1,7-1,9 раз. Дополнительное применение фосфогипса увеличивало количество подвижного марганца относительно контроля и фона в 2,1-3,0 и в 1,1-1,7 раз, соответственно. При этом с увеличением дозы фосфогипса концентрация подвижных форм марганца растет.

Концентрация подвижных форм железа варьировала в пределах 4,32-7,55 мг/кг. В фазы образования 5 листа и начала активного роста луковицы наименьшее содержание металла – в контрольном варианте. Внесение удобрений и ФГ способствовало увеличению количества подвижного железа в почве в среднем на 13,2-27,7 %, причем наибольшая концентрация на варианте опыта ФОН + ФГ 10 т/га. В период с начала активного роста луковицы и до полного созревания при внесении удобрения (ФОН) происходит снижение концентрации железа по сравнению с контролем на 2-3,7 %. Внесение ФГ действует на содержание подвижных форм железа в данный период развития лука неоднозначно. В целом происходит снижение концентрации металла до 0,6-4 %. В фазы начала активного роста луковицы и начала созревания наибольшая концентрация металла отмечена при внесении 10 т ФГ на га – 5,10 и 4,86 мг/кг, соответственно, что выше контроля на 2,8 и 0,8 %. К наступлению технической спелости лука концентрация подвижных форм железа достигает максимальных значений на варианте ФОН + ФГ 8 т/га (4,58 мг/кг), что превышает контроль на 2,2 %.

Количество подвижных форм никеля в почве равнялось 0,30-0,46 мг/кг, минимальные значения выявлены на контроле. Применение фонового удобрения приводит к росту концентрации никеля во все фазы развития лука в 1,2-1,4 раз по сравнению с контролем. При внесении ФГ также наблюдается рост концентрации подвижных форм никеля относительно контроля на 6,7-33 %, а по сравнению с фоном концентрация в основном меньше либо равна значениям на фоновом варианте. Исключение составляет только вариант ФОН + ФГ 10 т/га в фазу начала активного роста и созревания луковицы, где значения превышали фон на 2,4 % и 7,9 %, а относительно контроля превышение составило 34 и 32 %.

Анализируя полученные результаты, можно выявить следующие закономерности относительно фаз развития лука: концентрация подвижных форм всех изучаемых металлов в почве уменьшается в течение всего вегетационного периода. Кадмий в период начала созревания - техническая спелость лука, а также медь и цинк с начала образования и до начала активного роста луковицы накапливались в почве.

Внесение фонового удобрения повышает концентрацию подвижных форм кадмия, марганца и никеля, а снижает содержание свинца, меди цинка и железа (кроме фаз образования 5 листа и начала образования луковицы) по сравнению с контролем под участками лука репчатого сорта Визион (табл. 4.1.4). Схожим образом на накопление тяжелых металлов влияет внесение ФГ во всех дозах, однако есть некоторые особенности. Внесение 2-6 т/га на начальных этапах развития лука приводит к повышению концентрации большинства металлов (Cd, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni). С начала образования луковицы и ее активного роста содержание меди, цинка и железа становится меньше по сравнению с контролем, а концентрация свинца на протяжении всего вегетационного периода ниже, чем на контрольном варианте.

Таблица 4.1.4 – Подвижность тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Визион по фазам развития, %

| Вариант  | Элемент |      |      |      |       |      |      |
|--|---------|------|------|------|-------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn    | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 10,00   | 2,83 | 2,43 | 6,31 | 5,18  | 0,20 | 2,57 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 6,76    | 3,17 | 1,87 | 3,53 | 8,84  | 0,18 | 2,71 |
| + ФГ 2 т/га  | 10,77   | 3,13 | 3,08 | 5,56 | 11,32 | 0,18 | 2,93 |
| + ФГ 4 т/га  | 10,26   | 3,16 | 3,04 | 5,59 | 11,32 | 0,18 | 2,93 |
| + ФГ 6 т/га  | 10,81   | 3,16 | 3,04 | 5,56 | 11,48 | 0,18 | 2,93 |
| + ФГ 8 т/га  | 10,26   | 3,37 | 3,04 | 5,48 | 13,94 | 0,18 | 2,87 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 10,51   | 3,58 | 3,12 | 5,42 | 14,83 | 0,18 | 3,00 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 7,89    | 2,76 | 2,27 | 4,96 | 4,31  | 0,17 | 2,36 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 4,93    | 3,13 | 1,54 | 3,09 | 8,61  | 0,16 | 3,00 |
| + ФГ 2 т/га  | 10,51   | 3,13 | 1,44 | 5,13 | 10,29 | 0,16 | 3,07 |
| + ФГ 4 т/га  | 9,74    | 3,16 | 1,43 | 5,13 | 10,29 | 0,16 | 3,07 |
| + ФГ 6 т/га  | 9,74    | 3,16 | 1,54 | 5,13 | 10,29 | 0,16 | 3,07 |
| + ФГ 8 т/га  | 9,74    | 3,33 | 1,76 | 5,00 | 13,53 | 0,16 | 3,08 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 9,23    | 3,47 | 2,04 | 5,06 | 13,94 | 0,17 | 3,14 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 8,11    | 2,54 | 2,17 | 8,10 | 4,48  | 0,16 | 2,29 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 4,77    | 2,48 | 1,43 | 5,56 | 8,54  | 0,12 | 2,80 |
| + ФГ 2 т/га  | 10,53   | 2,59 | 1,25 | 6,18 | 9,90  | 0,13 | 3,00 |
| + ФГ 4 т/га  | 8,95    | 2,59 | 1,31 | 6,23 | 9,90  | 0,13 | 3,00 |
| + ФГ 6 т/га  | 9,19    | 2,64 | 1,31 | 6,23 | 9,90  | 0,13 | 3,00 |
| + ФГ 8 т/га  | 9,19    | 2,65 | 1,51 | 6,17 | 12,20 | 0,13 | 3,15 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 9,21    | 2,69 | 1,93 | 6,19 | 13,59 | 0,12 | 2,87 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 6,49    | 2,32 | 2,12 | 7,71 | 4,14  | 0,16 | 2,38 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 4,62    | 2,46 | 1,35 | 5,70 | 8,42  | 0,11 | 2,71 |
| + ФГ 2 т/га  | 9,46    | 2,33 | 1,19 | 6,04 | 10,31 | 0,15 | 2,85 |
| + ФГ 4 т/га  | 8,92    | 2,47 | 1,22 | 6,11 | 10,31 | 0,14 | 3,00 |
| + ФГ 6 т/га  | 8,92    | 2,29 | 1,19 | 5,88 | 10,82 | 0,14 | 2,92 |
| + ФГ 8 т/га  | 8,68    | 2,40 | 1,19 | 5,74 | 12,12 | 0,14 | 2,83 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 9,19    | 2,50 | 1,74 | 5,66 | 12,63 | 0,14 | 2,93 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 7,78    | 2,00 | 2,24 | 7,86 | 4,00  | 0,15 | 2,73 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 5,63    | 2,14 | 1,38 | 5,82 | 7,18  | 0,11 | 2,50 |
| + ФГ 2 т/га  | 9,72    | 2,16 | 1,19 | 5,69 | 10,50 | 0,14 | 2,75 |
| + ФГ 4 т/га  | 9,72    | 2,10 | 1,22 | 5,69 | 10,50 | 0,14 | 2,75 |
| + ФГ 6 т/га  | 9,17    | 2,12 | 1,19 | 5,69 | 10,27 | 0,14 | 2,67 |
| + ФГ 8 т/га  | 9,17    | 2,39 | 1,19 | 5,68 | 10,81 | 0,15 | 2,67 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 9,17    | 2,60 | 1,75 | 5,79 | 12,57 | 0,13 | 2,43 |

При внесении повышенных доз мелиоранта (8 и 10 т/га) сохраняются общие закономерности накопления металлов в почве в зависимости от разных фаз развития лука, но при этом отмечен рост концентрации подвижных форм свинца по сравнению с контролем в фазу технической спелости, а также снижение концентрации железа происходило только в фазу созревания луковицы для варианта ФОН + ФГ 8 т/га и в фазу технической спелости для варианта ФОН + ФГ 10 т/га. В целом, можно отметить увеличение концентрации кадмия, марганца и никеля при внесении удобрений и ФГ, а концентрация свинца, меди, цинка в большинстве случаев была ниже, чем на контрольном варианте.

Подвижность кадмия в течение всего вегетационного периода равнялась от 4,62 до 10,81%, однако наибольшие показатели пришлись на фазу образования 5 листа – от 6,76 до 10,81%. В целом, максимальная подвижность кадмия отмечена на вариантах опыта ФОН + ФГ 2 т/га и ФОН + ФГ 4 т/га.

Данные показатели были на 1,94-2,97% выше контроля. Только в фазу образования 5 листа наибольшая подвижность тяжелого металла отмечена на варианте опыта ФОН + ФГ 6 т/га, где превышение относительно контроля составило 0,81%. Самой низкой подвижностью обладал кадмий на варианте опыта ФОН, значения равнялись 4,62-6,76 %, что меньше контроля на 1,87-3,34 %.

Относительное содержание подвижных форм свинца от валового составило 2,00-3,58%. Наименьшая подвижность выявлена на контрольном варианте в фазы образования 5 листа, образования луковицы и технической спелости. В стадии активного роста минимальная подвижность оказалась на фоновом варианте, а в фазу начала созревания луковицы — на варианте ФОН + ФГ 6 т/га. Данные значения были на 0,06 и 0,03% ниже контрольного варианта. Во всех остальных случаях внесение фосфогипса повышает подвижность свинца на 0,01-0,75 % относительно контроля. Причем с увеличением дозы вносимого фосфогипса подвижность металла в почве возрастает и максимальные значения, равные 2,50-3,58 %, получены на варианте ФОН + ФГ 10 т/га, превышение относительно контрольного индекса составило 0,15-0,75 %.

Подвижность меди варьировала 1,19-3,12 %. Внесение фонового удобрения снижает подвижность на 0,56-0,86 % по сравнению с контролем, где на всех стадиях развития лука, кроме образования 5 листа была отмечена наибольшая подвижность меди – 2,12-2,27 %. Только на стадии 5 листа в почве отношение подвижных формы металла к валовому содержанию увеличивалось с внесением ФГ и оказалось максимальным на варианте ФОН + ФГ 10 т/га – 3,12 %, что на 0,69 % превосходит контроль. В остальной период развития лука внесение ФГ снижало подвижность меди на 0,23-1,05 %. с фазы образования луковицы самые низкие значения отмечены на вариантах опыта ФОН + ФГ 2 т/га, а с начала созревания луковицы также на вариантах с внесением ФГ в норме 6 и 8 т/га. Значения ниже контрольного на 0,83-1,05 %.

Значения подвижности цинка находились в диапазоне 3,09-8,10 %. Почти на протяжении всего вегетационного периода максимальная подвижность выявлена на контрольном варианте. В фазу образования луковицы наибольшая подвижность цинка отмечена при внесении в почву 2-6 т/га, что превысило значение контрольного варианта на 0,17 %. Наименьшие показатели подвижности в период с образования 5 листа до начала образования луковицы были при внесении фонового удобрения – 3,09-5,56 %, что ниже контроля на 1,87-2,78 %. К началу созревания луковицы наименьшая подвижность цинка выявлена на варианте ФОН + ФГ 10 т/га, что на 2,05 % меньше контрольного значения. В целом, за исключением фазы образования луковицы, внесение ФГ снижало относительное количество подвижного цинка к его валовому содержанию на 0,72-2,17 % по сравнению с контролем.

Отношение подвижных форм марганца к валовому содержанию металла в почве варьировало в пределах 4,00-14,83 %, при этом наибольшая подвижность отмечена на начальных этапах развития лука. Минимальные значения выявлены на контрольном варианте во все фазы. Внесение как фонового удобрения, так и совместно с фосфогипсом способствует значительному увеличению подвижности марганца по сравнению с контролем на 3,18-9,65 %. Увеличение дозы мелиоранта повышает подвижность, и максимальные показатели

выявлены на варианте ФОН + ФГ 10 т/га, превышение составило 8,49-9,65 % относительно контроля и 4,21-5,99 % по сравнению с фоном.

Подвижность железа составила 0,11-0,20 %, в большинстве случаев максимальная подвижность отмечена на контрольном варианте. В фазу образования луковицы значение подвижности металла, равное контрольному было на варианте ФОН + ФГ 10 т/га, а в фазу технической спелости - ФОН + ФГ 8 т/га. В целом, внесение минеральных удобрений снижает подвижность железа на 0,01-0,05 %, а дополнительное применение ФГ – до 0,04 %.

Процентное содержание подвижных форм никеля равнялось 2,29-3,15 %. Внесение минеральных удобрений и ФГ в большинстве случаев увеличивало подвижность никеля на 0,14-0,86 %. Только в фазу технической спелости луковицы на фоновом варианте подвижность снизилась на 0,23 %, а дополнительное применение ФГ привело к снижению до 0,30 %. Наименьшая подвижность выявлена на контрольном варианте (кроме технической спелости), а максимальные показатели отмечены на вариантах опыта ФОН + ФГ 10 т/га в фазы 5 листа и начала образования луковицы. Относительно контроля данный показатель на 0,43-0,88 % выше. К началу активного роста луковицы наибольшая подвижность становится на варианте опыта ФОН + ФГ 8 т/га – на 0,86 % превышает контроль, а к началу созревания лука максимальный показатель подвижности (на 0,62 % выше контроля) выявлен при внесении в почву ФГ в норме 4 т/га.

В целом, отмечена тенденция к снижению подвижности всех металлов в течение вегетационного периода лука. Однако, подвижность кадмия в период начала созревания – техническая спелость лука увеличивается до 1%. Показатель подвижности меди в этот период также в основном возрастает. Подвижность цинка с начала образования луковицы до начала активного роста увеличивается в среднем до 3 %. Подвижность железа в период начала активного роста до начала созревания луковицы увеличивается. Возрастание подвижно-

сти также отмечено для никеля с образования 5 листа до образования луковицы до 0,3% кроме контрольного варианта, где произошло снижение подвижности никеля на 0,21%.

Таким образом, максимальная подвижность меди, цинка и железа отмечена на контрольном варианте, свинца и марганца – при внесении ФГ в норме 10 т/га, кадмия и никеля - при внесении фосфогипса (для кадмия на варианте Фон + ФГ 2 т/га, Фон + ФГ 4 т/га, Фон + ФГ 6 т/га, а для никеля при внесении 2, 4, 8 и 10 т/га). Самая низкая подвижность в большинстве случаев для свинца, марганца и никеля выявлена на контроле, для кадмия и цинка - на фоне минеральных удобрений (для цинка также на 10 и 2-8 т/га в фазы начала созревания и технической спелости, соответственно).

По полученным значениям концентрации подвижных форм ТМ были рассчитаны коэффициенты Кс, которые позволяют установить, рассеивается или накапливается данный элемент в почве относительно его фонового содержания в почвах региона (табл. 4.1.5).

Таблица 4.1.5 – Коэффициенты накопления тяжелых металлов при различных уровнях внесения фосфогипса, 2021-2023 гг.

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,95    | 0,16 | 0,09 | 0,03 | 0,02 | 0,83 | 0,65 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 1,15    | 0,14 | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,97 | 0,84 |
| +ФГ 2 т/га   | 1,05    | 0,13 | 0,09 | 0,04 | 0,05 | 0,94 | 0,80 |
| +ФГ 4 т/га   | 1,00    | 0,13 | 0,09 | 0,04 | 0,05 | 0,94 | 0,80 |
| +ФГ 6 т/га   | 1,00    | 0,13 | 0,09 | 0,04 | 0,05 | 0,94 | 0,80 |
| +ФГ 8 т/га   | 1,00    | 0,13 | 0,09 | 0,04 | 0,06 | 0,97 | 0,78 |
| +ФГ 10 т/га  | 1,03    | 0,15 | 0,10 | 0,04 | 0,06 | 0,98 | 0,82 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,75    | 0,15 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,70 | 0,60 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,83    | 0,13 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,84 | 0,82 |

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| +ФГ 2 т/га   | 1,03    | 0,13 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,87 | 0,78 |
| +ФГ 4 т/га   | 0,95    | 0,13 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,87 | 0,78 |
| +ФГ 6 т/га   | 0,95    | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,87 | 0,78 |
| +ФГ 8 т/га   | 0,95    | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,87 | 0,73 |
| +ФГ 10 т/га  | 0,90    | 0,14 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,89 | 0,80 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,75    | 0,14 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,65 | 0,58 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,78    | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,63 | 0,76 |
| +ФГ 2 т/га   | 1,00    | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,65 | 0,76 |
| +ФГ 4 т/га   | 0,85    | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,64 | 0,76 |
| +ФГ 6 т/га   | 0,85    | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,64 | 0,76 |
| +ФГ 8 т/га   | 0,85    | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,65 | 0,75 |
| +ФГ 10 т/га  | 0,88    | 0,12 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,66 | 0,78 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,60    | 0,13 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,63 | 0,56 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,75    | 0,12 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,60 | 0,69 |
| +ФГ 2 т/га   | 0,88    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,60 | 0,67 |
| +ФГ 4 т/га   | 0,83    | 0,10 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,60 | 0,65 |
| +ФГ 6 т/га   | 0,83    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,60 | 0,64 |
| +ФГ 8 т/га   | 0,83    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,61 | 0,62 |
| +ФГ 10 т/га  | 0,85    | 0,11 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,63 | 0,75 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,70    | 0,11 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,58 | 0,55 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,90    | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,56 | 0,64 |
| +ФГ 2 т/га   | 0,88    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,56 | 0,60 |
| +ФГ 4 т/га   | 0,88    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,57 | 0,60 |
| +ФГ 6 т/га   | 0,83    | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,57 | 0,58 |
| +ФГ 8 т/га   | 0,83    | 0,11 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,60 | 0,58 |
| +ФГ 10 т/га  | 0,83    | 0,11 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,58 | 0,62 |

Для кадмия значения Кс колебались в пределах 0,60-1,15, для железа – 0,56-0,97, для никеля – 0,55-0,84. Концентрация этих элементов оказалась

наиболее близкой к региональному фоновому значению. Рассеивающимися элементами являются свинец ( $K_c=0,10-0,16$ ), медь ( $K_c=0,03-0,09$ ), марганец ( $K_c=0,02-0,06$ ) и цинк ( $K_c=0,02-0,04$ ), причем относительные концентрации меди, марганца и цинка во многих вариантах опыта были близки или равнялись.

Для контрольного варианта на всех стадиях, кроме начала созревания луковицы, можно составить следующий геохимический индекс:

$$Cd\ Fe\ Ni\ \frac{1}{Pb\ Cu\ Zn\ Mn}$$

В фазу начала созревания луковицы относительная концентрация железа становится больше, чем у кадмия, а остальные элементы сохраняют свои позиции.

Внесение фонового удобрения изменяет концентрацию подвижных форм металлов относительно контроля, значения  $K_c$  элементов меняются. В азу образования 5 листа последовательность элементов: Cd-Fe-Ni-Pb-Cu-Mn-Zn. На стадии образования луковицы последовательность меняется: Fe-Cd-Ni-Pb-Cu-Mn-Zn, в остальной период развития лука геохимический индекс можно описать выражением:

$$Cd\ Ni\ Fe\ \frac{1}{Pb\ Cu\ Mn\ Zn}$$

При внесении ФГ во всех дозах на начальных этапах развития лука распределение элементов по значениям их  $K_c$  одинаково. Геохимический индекс в этом случае представлен следующей дробью:

$$Cd\ Fe\ Ni\ \frac{1}{Pb\ Cu\ Mn\ Zn}$$

С начала активного роста происходят изменения относительной концентрации железа и никеля, железо становится более рассеиваемым элементом и переходит на 3 позицию. В период с начала созревания и до технической спелости лука концентрация марганца становится выше, чем у меди (за исключением варианта 10 т/га). В этом случае геохимический индекс выглядит следующим образом:

$$\frac{Cd \ Ni \ Fe}{Pb \ Mn \ Cu \ Zn} = 1$$

В целом, можно отметить, что относительная концентрация кадмия, железа и никеля всегда превышает 0,5 и данные элементы не являются ни рассеивающимися, ни накапливающимися, концентрация подвижных форм близка к региональному фоновому значению. Свинец, медь, марганец и цинк имеют значения Кс меньше 0,5, следовательно, составляют ассоциацию рассеивающихся элементов. При этом наибольшая концентрация всегда у свинца, а относительные концентрации меди, марганца и цинка близки друг к другу. Поэтому в некоторых вариантах опыта на определенных стадиях развития лука неосновательность этих элементов в геохимическом ряду меняется: на контрольном варианте по убыванию Кс элементы расположились в ряд: Cu-Zn-Mn, в большинстве случаев при внесении минеральных удобрений и ФГ последовательность меняется: Cu-Mn-Zn. Однако, при внесении ФГ в норме 2-6 т/га в фазы начала созревания и технической спелости, а также при внесении 8 т/га ФГ на всех стадиях кроме образования 5 листа последовательность трех элементов следующая: Mn - Cu - Zn. По средним значениям Кс элементов можно составить геохимический индекс:

$$Cd \ 0.88 \ Fe \ 0.72 \ Ni \ 0.69 = \frac{1}{Pb \ 0.12 \ Cu \ 0.06 \ Mn \ 0.04 \ Zn \ 0.03}$$

#### **4.2. Влияние фосфогипса на накопления тяжелых металлов почвой под растениями лука репчатого сорта Манас**

Валовое содержание всех изучаемых металлов в почве находилось в 2,5-6,0 раз ниже ПДК (табл. 4.2.1). Содержание кадмия в почве варьировало в пределах 0,35-0,72 мг/кг. Увеличение концентрации металла в 1,7 раза отмечено на фоновом варианте на всех фазах развития лука, тогда как дополнительное внесение ФГ не влияло на содержание кадмия по сравнению с контролем.

Таблица 4.2.1 – Валовое содержание тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Манас по фазам развития, мг/кг

| Вариант  | Элемент |      |      |      |     |      |      |
|--|---------|------|------|------|-----|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn  | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,38    | 12,7 | 11,1 | 13,0 | 220 | 3230 | 14,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,67    | 11,6 | 10,7 | 17,0 | 210 | 4120 | 17,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,38    | 9,8  | 9,2  | 14,0 | 210 | 3330 | 15,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,38    | 9,7  | 9,4  | 14,0 | 220 | 3890 | 15,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,36    | 9,8  | 9,8  | 14,0 | 210 | 3120 | 15,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,38    | 10,0 | 9,1  | 14,0 | 180 | 3120 | 15,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,38    | 11,4 | 8,5  | 17,0 | 220 | 3890 | 15,0 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,40    | 12,7 | 10,9 | 13,0 | 214 | 3220 | 14,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,69    | 11,4 | 10,3 | 17,0 | 208 | 4130 | 15,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,39    | 9,8  | 9,3  | 14,0 | 208 | 3330 | 14,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,39    | 9,7  | 9,4  | 14,0 | 218 | 3880 | 14,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,38    | 9,8  | 9,9  | 14,0 | 209 | 3110 | 14,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,39    | 10,0 | 9,8  | 14,0 | 175 | 3100 | 13,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,39    | 11,4 | 8,8  | 17,0 | 218 | 3850 | 14,0 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,41    | 12,2 | 11,2 | 13,1 | 218 | 3100 | 13,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,72    | 9,6  | 11,3 | 17,3 | 208 | 4100 | 15,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,41    | 9,7  | 10,8 | 14,2 | 208 | 3200 | 14,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,41    | 9,6  | 10,4 | 14,3 | 218 | 3600 | 14,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,42    | 9,4  | 10,8 | 14,2 | 208 | 3000 | 16,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,42    | 9,6  | 10,1 | 14,2 | 180 | 3000 | 12,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,44    | 10,2 | 10,5 | 17,2 | 216 | 3600 | 16,0 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,38    | 12,6 | 10,1 | 13,0 | 221 | 3200 | 13,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,67    | 11,2 | 10,3 | 17,0 | 212 | 4100 | 16,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,38    | 10,8 | 9,8  | 14,0 | 211 | 3300 | 14,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,38    | 10,4 | 9,4  | 14,0 | 222 | 3800 | 13,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,36    | 9,9  | 9,8  | 14,0 | 212 | 3100 | 16,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,38    | 10,3 | 9,1  | 14,0 | 188 | 3100 | 13,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,38    | 10,4 | 8,5  | 17,0 | 222 | 3800 | 16,0 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |     |      |      |
| Контроль   | 0,36    | 12,6 | 9,1  | 13,0 | 222 | 3200 | 12,0 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,64    | 11,2 | 9,3  | 17,0 | 215 | 4100 | 15,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,35    | 10,6 | 8,8  | 14,0 | 212 | 3300 | 13,0 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,35    | 10,2 | 8,4  | 14,0 | 223 | 3800 | 13,0 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,35    | 10,1 | 8,8  | 14,0 | 215 | 3100 | 15,0 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,35    | 10,2 | 8,1  | 14,0 | 185 | 3100 | 12,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,35    | 10,3 | 7,5  | 17,0 | 225 | 3800 | 15,0 |

| Вариант                   | Элемент     |             |             |             |             |              |             |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|                           | Cd          | Pb          | Cu          | Zn          | Mn          | Fe           | Ni          |
| ФОН [111]                 | 0,66        | 13,40       | 26,5        | 75,5        | 687,7       | 33592        | 28,2        |
| ПДК [111]                 | 2           | 32          | 55          | 100         | 1500        | -            | 85          |
| <i>HCP</i> <sub>0,5</sub> | <i>0,01</i> | <i>0,51</i> | <i>0,41</i> | <i>0,04</i> | <i>2,02</i> | <i>51,13</i> | <i>0,96</i> |

Наибольшая концентрация металла в почве была отмечена в фазу активного роста луковицы (0,41-0,72 мг/кг), и содержание на варианте с применением минеральных удобрений. Превышение фонового значения кадмия в почвах Самарской области на 0,06 мг/кг отмечено на варианте с внесением N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>.

Количество валового свинца в опыте колебалось от 9,4-12,7 мг/кг. Наибольшие значения концентраций были выявлены на контрольном варианте, в среднем этот показатель составил 12,2-12,7 мг/кг. Внесение фонового удобрения на 1,1-2,6 мг/кг уменьшало содержание металла в почве, а применение фосфогипса снижало значение до 3,0 мг/кг. Наименьшая концентрация свинца обнаружена при применении ФГ в дозе 4 и 6 т/га относительно контроля значение снизилось на 2,5-3,0 мг/га или на 20,0-23,6 %.

На посевах лука сорта Манас содержание в почве меди составляло от 7,5 до 11,3 мг/кг, наибольшие концентрации отмечены на контроле и фоне, они равнялись соответственно 9,1-11,2 и 9,3-11,3 мг/кг. Внесение минерального удобрения N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> достоверно снижало концентрацию меди в почве лишь в фазу образования луковицы на 0,6 мг/кг по сравнению с контролем. Изменения количества металла на фоне удобрения по сравнению с контролем, зафиксированные в остальные фазы развития лука, являются несущественными, т.к. отличаются на 0,1-0,4 мг/кг. Внесение ФГ снижает содержание меди на 0,3-2,6 мг/кг по сравнению с контролем и на 0,4-2,2 мг/кг относительно фонового варианта. Наибольшее снижение содержания меди – 23 % в фазу образования 5 листа выявлено на варианте опыта ФОН +ФГ 10 т/га. Максимальное количество меди отмечено к началу активного роста луковицы (10,1-11,3 мг/кг), а самое низкое перед уборкой урожая, в фазу технической спелости лука (7,5-9,3 мг/кг).

Цинк содержался в почвах в количестве 13,0-17,0 мг/кг, причем данное содержание не менялось в течение вегетационного периода лука сорта Манас. Только на стадии начала активного роста луковицы количество цинка возросло на 0,1-0,3 мг/кг. Максимальное значение, равное 17,0-17,3 мг/кг, было характерно для фонового варианта и при внесении 10 т/га фосфогипса превысило контроль на 31 %. Применение минерального удобрения совместно с фосфогипсом во всех остальных дозах достоверно увеличивает валовое содержание цинка на 1 мг/кг или на 7,7 %. Наименьшее количество цинка, равное 13,0 мг/кг выявлено на контрольном варианте.

Концентрация марганца в почве варьировала от 175 до 225 мг/кг, а внесение минерального удобрения и ФГ в основном приводило к снижению его количества на 0,9-18,2 %.

Однако, применение 4 и 10 т/га ФГ не влияло на изменение концентрации марганца в почве или повышало ее относительно контроля на 1-4 мг/кг. Самыми низкими значениями валового содержания марганца характеризовались варианты опыта с внесением 8 т/га ФГ, показатель равнялся 175-188 мг/кг, что на 15-18 % меньше контроля

Валовое содержание железа в исследуемой почве составило 3000-4130 мг/кг. При внесении фонового удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  концентрация металла повышается на 27,5-32,3 % по отношению к контрольному индексу, а дополнительное внесение ФГ в дозах 4 и 10 т/га увеличивают данный показатель на 16,1-20,5 %. Варианты, с применением ФГ в норме 2 т/га содержали на 100 мг/кг больше железа, чем на контроле. Однако, внесение минерального удобрения и ФГ в нормах 6 и 8 т/га наоборот, снижало концентрацию железа в среднем на 3 % относительно контрольного варианта. Данная разница является существенной, т.к. превышает значение НСР рассчитанное для металла, равное 51,13 мг/кг.

Под участками репчатого лука сорта Манас содержание никеля составило от 13,0 до 17,0 мг/кг, наибольшие значения выявлены на фоновом варианте, а также на вариантах опыта с внесением фосфогипса в норме 6 и 10 т/га.

Превышение относительно контроля составляет до 25 % или 1-3 мг/кг, что больше значения НСР и может считаться существенным. Наименьшие концентрации никеля выявлены на контроле и варианте опыта ФОН +ФГ 8 т/га – 12-15 мг/кг. В фазу образования 5-го листа применение фонового удобрения повысило содержание металла в почве на 21 % по сравнению с контролем, а варианты опыта с внесением ФГ имели одинаковые значения, превышающие контроль на 1 мг/кг (7 %). К фазе образования луковицы начинают проследиваться различия между вариантами опытов: наименьшее содержание никеля отмечено при применении 8 т/га фосфогипса. С начала активного роста луковицы заметно повышение концентрации металла на 3 мг/кг по отношению к контролю на вариантах опыта с применением 6 и 10 т/га ФГ. В целом, содержание никеля почти не меняется в течение вегетации, снижаясь в среднем на 2 мг/кг к моменту технической спелости лука относительно фазы появления листьев.

По сравнению с контрольным вариантом внесение минерального удобрения в норме  $N_{100}P_{100}K_{150}$  в среднем повышает концентрацию кадмия в 1,7 раз, цинка на 31,5 %, железа на 28,8 %, никеля на 18,2 %, при этом незначительно уменьшается содержание свинца на 1,6 мг/кг, меди на 0,1 мг/кг и марганца на 8 мг/кг. Изменение концентрации является существенными для всех металлов, кроме меди, т.к. данное значение ниже наименьшей существенной разницы.

Применение фосфогипса одинаково влияет на валовое содержание кадмия в почве и составляет на всех вариантах в среднем 0,38 мг/кг, что отличается от контроля на 0,01 мг/кг. Происходит снижение концентрации свинца на 15-22 %, меди на 8,6-16,2 %, марганца на 3,7-17 % кроме вариантов ФОН + ФГ 4 и 10 т/га, где в среднем отмечено такое же содержание элемента, как на контроле. Концентрация таких эссенциальных элементов как Zn, Fe, Ni при в среднем увеличивается на 7,7-31 % для никеля, до 20 % для железа и до 15,2 %. Однако, на вариантах опыта ФОН + ФГ 6 и 8 т/га валовое содержание железа снижается относительно контроля на 106 мг/кг или на 3,3 %.

В течение вегетационного периода с фазы образования 5 листа и до начала активного роста луковиц содержание кадмия в почве увеличивается на 0,03-0,06 мг/кг, а затем до технической спелости луковицы снижается на 0,05-0,08 мг/кг. В начальные фазы развития лука концентрация кадмия не меняется, а с момента образования и до начала активного роста луковицы уменьшается на 0,1-1,8 мг/кг. До начала созревания лука количество свинца в почве увеличивается на 0,2-1,6 мг/кг, а к моменту наступления технической спелости луковиц вновь снижается до 0,2 мг/кг.

Содержание меди в почве возрастает с начала образования до периода активного роста луковицы на 0,3-1,7 мг/кг, затем уменьшается и к фазе технической спелости составляет на 0,4-2 мг/кг меньше, чем в почве в момент образования 5 листа.

До образования луковицы концентрация цинка в почве не изменялась. К началу активного роста луковицы металла в почве становится на 0,1-0,3 мг/кг больше, чем на начальном этапе развития лука. В фазу начала созревания луковицы валовое содержание цинка в почве снижается до первоначального уровня на стадии образования 5 листа, и до момента технической спелости эти значения не меняются.

Содержание марганца в почве в фазу образования луковицы уменьшилась в среднем до 6 мг/кг по сравнению со значениями, полученными в период образования 5 листа. Однако, с начала активного роста луковицы и до ее полной спелости концентрация металла увеличилась и составила 185-225 мг/кг, что на 2-5 мг/кг больше от первоначальных значений.

В период фаз образование 5 листа и начало активного роста луковицы валовое содержание железа в почве снижается на 20-290 мг/кг, а до начала созревания увеличивается на 100-200 мг/кг и до момента уборки не меняется.

Для никеля отмечена закономерность: с образования 5 листа до образования луковицы концентрация металла в почве уменьшилась на 1-2 мг/кг. К началу активного роста луковицы количество элемента в почве выросло

только на вариантах Фон +ФГ 6 и 10 т/га, а также на контроле, в других вариантах опыта и до начала созревания валовое содержание практически не меняется. С начала созревания и до уборки происходит снижение концентрации никеля в почве на 1 мг/кг относительно предыдущего периода и до 3 мг/кг по сравнению с начальной фазой развития растений.

Кларк концентрации показывает, как отличается содержание химического элемента в изучаемом природном объекте от его кларка в земной коре. Если концентрация металла меньше его кларка, то пользуются понятием «кларк рассеяния», т.к. химический элемент в изучаемом объекте не накапливается, а рассеивается.

Содержание кадмия во всех вариантах опыта было выше, чем его кларк, поэтому рассчитали кларк концентрации, который составил 2,69-5,15. Как показали расчеты, остальные элементы (Pb, Cu, Zn, Mn, Fe и Ni) являются рассеивающимися, поэтому для них был рассчитан кларк рассеяния (табл.4.2.2).

Таблица 4.2.2 – Коэффициенты концентрации и рассеяния тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Манас по фазам развития

| *Вариант   | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| Образование 5-го листа                             |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | $\frac{2,92}{0,54}$ | $\frac{1,26}{0,95}$ | $\frac{4,23}{0,42}$ | $\frac{6,38}{0,17}$ | $\frac{4,55}{0,32}$ | $\frac{14,40}{0,10}$ | $\frac{4,14}{0,50}$ |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | $\frac{5,15}{0,96}$ | $\frac{1,38}{0,87}$ | $\frac{4,39}{0,40}$ | $\frac{4,88}{0,23}$ | $\frac{4,76}{0,31}$ | $\frac{11,29}{0,12}$ | $\frac{3,41}{0,60}$ |
| + ФГ 2 т/га  | $\frac{2,92}{0,54}$ | $\frac{1,63}{0,73}$ | $\frac{5,11}{0,35}$ | $\frac{5,93}{0,19}$ | $\frac{4,76}{0,31}$ | $\frac{13,96}{0,10}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 4 т/га  | $\frac{2,92}{0,54}$ | $\frac{1,65}{0,72}$ | $\frac{5,00}{0,35}$ | $\frac{5,93}{0,19}$ | $\frac{4,55}{0,32}$ | $\frac{11,95}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 6 т/га  | $\frac{2,77}{0,51}$ | $\frac{1,63}{0,73}$ | $\frac{4,80}{0,37}$ | $\frac{5,93}{0,19}$ | $\frac{4,76}{0,31}$ | $\frac{14,90}{0,09}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 8 т/га  | $\frac{2,92}{0,54}$ | $\frac{1,60}{0,75}$ | $\frac{5,16}{0,34}$ | $\frac{5,93}{0,19}$ | $\frac{5,56}{0,26}$ | $\frac{14,90}{0,09}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |
| + ФГ 10 т/га                                       | $\frac{2,92}{0,54}$ | $\frac{1,40}{0,85}$ | $\frac{5,53}{0,32}$ | $\frac{4,88}{0,23}$ | $\frac{4,55}{0,32}$ | $\frac{11,95}{0,12}$ | $\frac{3,87}{0,53}$ |

| *Вариант   | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| Образование луковицы                               |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>3,08</u><br>0,57 | <u>1,26</u><br>0,95 | <u>4,31</u><br>0,41 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>4,55</u><br>0,32 | <u>14,40</u><br>0,10 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>5,31</u><br>0,99 | <u>1,40</u><br>0,85 | <u>4,56</u><br>0,39 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,76</u><br>0,31 | <u>11,29</u><br>0,12 | <u>3,41</u><br>0,60 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>3,00</u><br>0,56 | <u>1,63</u><br>0,73 | <u>5,05</u><br>0,35 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,76</u><br>0,31 | <u>13,96</u><br>0,10 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>3,00</u><br>0,56 | <u>1,65</u><br>0,72 | <u>5,00</u><br>0,35 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,55</u><br>0,32 | <u>11,95</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,63</u><br>0,73 | <u>4,75</u><br>0,37 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,76</u><br>0,31 | <u>14,90</u><br>0,09 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>3,00</u><br>0,56 | <u>1,60</u><br>0,75 | <u>4,80</u><br>0,37 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>5,56</u><br>0,26 | <u>14,90</u><br>0,09 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>3,00</u><br>0,56 | <u>1,40</u><br>0,85 | <u>5,34</u><br>0,33 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,55</u><br>0,32 | <u>11,95</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| Начало активного роста луковицы                    |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>3,15</u><br>0,59 | <u>1,31</u><br>0,91 | <u>4,20</u><br>0,42 | <u>6,34</u><br>0,17 | <u>4,59</u><br>0,32 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>5,54</u><br>1,03 | <u>1,67</u><br>0,72 | <u>4,16</u><br>0,43 | <u>4,80</u><br>0,23 | <u>4,81</u><br>0,30 | <u>11,34</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>3,15</u><br>0,59 | <u>1,65</u><br>0,72 | <u>4,35</u><br>0,41 | <u>5,85</u><br>0,19 | <u>4,81</u><br>0,30 | <u>14,53</u><br>0,10 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>3,15</u><br>0,59 | <u>1,67</u><br>0,72 | <u>4,52</u><br>0,39 | <u>5,80</u><br>0,19 | <u>4,59</u><br>0,32 | <u>12,92</u><br>0,11 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>3,23</u><br>0,60 | <u>1,70</u><br>0,70 | <u>4,35</u><br>0,41 | <u>5,85</u><br>0,19 | <u>4,81</u><br>0,30 | <u>15,50</u><br>0,09 | <u>3,63</u><br>0,57 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>3,23</u><br>0,60 | <u>1,67</u><br>0,72 | <u>4,65</u><br>0,38 | <u>5,85</u><br>0,19 | <u>5,56</u><br>0,26 | <u>15,50</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>3,38</u><br>0,63 | <u>1,57</u><br>0,76 | <u>4,48</u><br>0,40 | <u>4,83</u><br>0,23 | <u>4,63</u><br>0,31 | <u>12,92</u><br>0,11 | <u>3,63</u><br>0,57 |
| Начало созревания                                  |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,27</u><br>0,94 | <u>4,65</u><br>0,38 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>4,52</u><br>0,32 | <u>14,53</u><br>0,10 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>5,15</u><br>0,96 | <u>1,43</u><br>0,84 | <u>4,56</u><br>0,39 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,72</u><br>0,31 | <u>11,34</u><br>0,12 | <u>3,63</u><br>0,57 |

| *Вариант   | Элемент             |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|  | Cd                  | Pb                  | Cu                  | Zn                  | Mn                  | Fe                   | Ni                  |
| + ФГ 2 т/га  | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,48</u><br>0,81 | <u>4,80</u><br>0,37 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,74</u><br>0,31 | <u>14,09</u><br>0,10 | <u>4,14</u><br>0,50 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,54</u><br>0,78 | <u>5,00</u><br>0,35 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,50</u><br>0,32 | <u>12,24</u><br>0,11 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,77</u><br>0,51 | <u>1,62</u><br>0,74 | <u>4,80</u><br>0,37 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,72</u><br>0,31 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>3,63</u><br>0,57 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,55</u><br>0,77 | <u>5,16</u><br>0,34 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>5,32</u><br>0,27 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>2,92</u><br>0,54 | <u>1,54</u><br>0,78 | <u>5,53</u><br>0,32 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,50</u><br>0,32 | <u>12,24</u><br>0,11 | <u>3,63</u><br>0,57 |
| Техническая спелость луковицы                      |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
| Контроль   | <u>2,77</u><br>0,51 | <u>1,27</u><br>0,94 | <u>5,16</u><br>0,34 | <u>6,38</u><br>0,17 | <u>4,50</u><br>0,32 | <u>14,53</u><br>0,10 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | <u>4,92</u><br>0,91 | <u>1,43</u><br>0,84 | <u>5,05</u><br>0,35 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,65</u><br>0,31 | <u>11,34</u><br>0,12 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 2 т/га  | <u>2,69</u><br>0,50 | <u>1,51</u><br>0,79 | <u>5,34</u><br>0,33 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,72</u><br>0,31 | <u>14,09</u><br>0,10 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 4 т/га  | <u>2,69</u><br>0,50 | <u>1,57</u><br>0,76 | <u>5,60</u><br>0,32 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,48</u><br>0,32 | <u>12,24</u><br>0,11 | <u>4,46</u><br>0,46 |
| + ФГ 6 т/га  | <u>2,69</u><br>0,50 | <u>1,58</u><br>0,75 | <u>5,34</u><br>0,33 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>4,65</u><br>0,31 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>3,87</u><br>0,53 |
| + ФГ 8 т/га  | <u>2,69</u><br>0,50 | <u>1,57</u><br>0,76 | <u>5,80</u><br>0,31 | <u>5,93</u><br>0,19 | <u>5,41</u><br>0,27 | <u>15,00</u><br>0,09 | <u>4,83</u><br>0,43 |
| + ФГ 10 т/га                                       | <u>2,69</u><br>0,50 | <u>1,55</u><br>0,77 | <u>6,27</u><br>0,28 | <u>4,88</u><br>0,23 | <u>4,44</u><br>0,33 | <u>12,24</u><br>0,11 | <u>3,87</u><br>0,53 |

\*Примечание. Для Cd посчитан коэффициент концентрации, для остальных – коэффициент рассеяния

Кр свинца составил 1,26-1,67, минимальные значения были характерны для контрольного варианта, т.к. концентрация свинца здесь больше, чем в почве с внесением удобрений и ФГ. Коэффициент рассеяния свинца оказался близок к единице, следовательно, содержание элемента в почве близко к его содержанию в земной коре. Такие металлы, как Ni, Cu, Mn и Zn рассеиваются в большей степени, их количество в среднем в 4-6 раз ниже значения кларка в земной коре. Для никеля коэффициент рассеяния составил 3,41-4,83, для меди

– 4,16-5,80, для марганца – 4,44-5,56 и для цинка – 4,80-6,38. Самым рассеиваемым элементом оказалось железо, его коэффициент рассеяния составил от 11,29-15,50.

Расчет кларков концентрации и рассеяния позволил выделить геохимические ассоциации накапливающихся и рассеивающихся элементов в образцах почвы. Для большинства фаз развития лука на контрольном и фоновом вариантах опыта ряд элементов можно представить следующим образом: накапливающийся химический элемент Cd, а ассоциация рассеивающихся элементов (по увеличению Кр): Pb – Ni – Cu – Mn – Zn – Fe. При внесении ФГ концентрация марганца и меди меняется, что ведет к изменению коэффициентов рассеяния. В итоге ряд приобретает вид: Pb – Ni – Mn – Cu – Zn – Fe за исключением фазы начала активного роста луковицы, где ряд идентичен контрольному и фоновому вариантам. Из приведенных рядов следует, что в почве опытного участка идет накопление кадмия и рассеяние марганца, цинка, свинца, меди, никеля и железа. Причем свинец среди них рассеивается в наименьшей степени, далее идет никель. Медь и марганец имеют близкие значения Кр, поэтому в некоторых вариантах опыта происходит их относительное перемещение в геохимической ассоциации. Более сильно рассеивается цинк, а железо – самый рассеиваемый элемент, его концентрация в почве в 11-15 раз ниже, чем в земной коре.

К моменту уборки лука, в фазу технической спелости геохимический ряд на контрольном и фоновом вариантах отличается от таковых в другие фазы развития. Так, для контроля можно записать: накапливающийся элемент Cd<sub>(2,77)</sub>, рассеивающиеся – Pb<sub>(1,27)</sub> Mn<sub>(4,50)</sub> Ni<sub>(4,83)</sub> Cu<sub>(5,16)</sub> Zn<sub>(6,38)</sub> Fe<sub>(14,53)</sub>. На варианте ФОН (N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub>): накапливающийся элемент Cd<sub>(4,92)</sub>, рассеивающиеся – Pb<sub>(1,43)</sub> Ni<sub>(3,87)</sub> Mn<sub>(4,65)</sub> Zn<sub>(4,88)</sub> Cu<sub>(5,05)</sub> Fe<sub>(11,34)</sub>.

Еще один важный ландшафтно-геохимический показатель – коэффициент концентрации или относительная концентрация химического элемента (Кс), который позволяет судить о том, во сколько раз содержание химического

элемента в исследуемом образце почвы отличается от его регионального фонового содержания. Расчетами установлено, что коэффициенты концентрации всех изучаемых элементов не превышают 1 (за исключением кадмия на фоновом варианте в фазу активного роста лукавицы, где  $K_c=1,03$ ). Следовательно, металлы в почве содержатся в концентрациях ниже фонового регионального значения. Для свинца  $K_c$  составил от 0,72 до 0,95. Далее по убыванию относительной концентрации расположились: кадмий ( $K_c=0,50-1,03$ ), никель ( $K_c=0,43-0,60$ ), медь ( $K_c=0,28-0,43$ ), марганец ( $K_c=0,26-0,32$ ), цинк ( $K_c=0,17-0,23$ ) и железо ( $K_c=0,09-0,12$ ). По предложению И.С. Михайлова с соавторами (1967 г) в ассоциацию рассеивающихся элементов следует отнести те,  $K_c$  которых ниже 0,5, а в ассоциацию накапливающихся – с  $K_c > 1,5$ . Содержание элементов, относительная концентрация которых колебалась в пределах 0,5-1,5, считается близким к фоновому содержанию. Таким образом, большинство вариантов опыта, независимо от фазы развития лука, по рассчитанным коэффициентам концентрации можно описать следующим геохимическим индексом:

$$Pb \ Cd \ Ni = \frac{1}{Cu \ Mn \ Zn \ Fe}$$

из которого видно, что свинец, кадмий и никель являются элементами с концентрациями близкими к фоновому значению, а медь, марганец, цинк и железо – рассеивающиеся, при этом накапливающиеся элементы в исследуемых почвах не выявлено.

Вариант с внесением в почву минеральных удобрений в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  отличается последовательностью свинца и кадмия, и перед уборкой урожая (в фазу технической спелости лукавиц) индекс выглядит следующим образом:

$$Cd \ 0.91 \ Pb \ 0.84 \ Ni \ 0.53 = \frac{1}{Cu \ 0.35 \ Mn \ 0.31 \ Zn \ 0.23 \ Fe \ 0.12}$$

Таким образом, прослеживаются общие закономерности распределения металлов в почве относительно кларка в земной коре и по сравнению с фоновым содержанием черноземных почв Самарской области: накапливающийся элемент в основном – кадмий, т.к его концентрация больше, чем в земной коре

и близка по значениям к фоновому содержанию в почвах. Остальные элементы можно отнести к рассеивающимся по отношению к кларку. Ассоциация накапливающихся и рассеивающихся элементов в отношении кларка и регионального содержания в почвах под луком репчатым сорта Манас представлена убывающим рядом: свинец-кадмий-никель-медь-марганец-цинк-железо. Концентрация подвижного кадмия в почве варьировала в пределах 0,028-0,046 мг/кг, что в 40-70 раз ниже ПДК (табл.4.2.3). Наибольшие значения характерны для фонового варианта на всех стадиях развития лука. Превышение относительно контроля составило 20-29 %. В фазу образования 5 листа внесение ФГ в норме 2 т/га снизило содержание кадмия на 0,006 мг/кг относительно фона. Дальнейшее увеличение нормы ФГ увеличивало концентрацию металла на 0,001-0,003 мг/кг.

Таблица 4.2.3 – Содержание подвижной формы тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Манас по фазам развития, мг/кг  
(экстрагент ацетатно-аммонийный буфер рН 4,8)

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,038   | 0,41 | 0,23 | 0,87 | 11,4 | 6,36 | 0,36 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,046   | 0,23 | 0,16 | 0,65 | 19,0 | 7,44 | 0,46 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,040   | 0,24 | 0,18 | 0,94 | 26,0 | 6,55 | 0,43 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,041   | 0,22 | 0,16 | 0,96 | 29,0 | 6,32 | 0,42 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,041   | 0,23 | 0,14 | 0,96 | 29,0 | 6,36 | 0,42 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,043   | 0,24 | 0,14 | 0,95 | 32,0 | 6,65 | 0,42 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,043   | 0,24 | 0,14 | 0,98 | 31,0 | 6,44 | 0,44 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,030   | 0,40 | 0,21 | 0,67 | 9,4  | 5,34 | 0,33 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,036   | 0,28 | 0,14 | 0,55 | 17,0 | 6,42 | 0,45 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,22 | 0,17 | 0,73 | 22,0 | 5,51 | 0,41 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,035   | 0,21 | 0,15 | 0,72 | 25,0 | 5,33 | 0,40 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,034   | 0,22 | 0,13 | 0,73 | 24,0 | 5,34 | 0,39 |

| Вариант  | Элемент |      |      |      |       |      |      |
|--|---------|------|------|------|-------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn    | Fe   | Ni   |
| + ФГ 8 т/га  | 0,034   | 0,23 | 0,13 | 0,75 | 28,0  | 5,66 | 0,38 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,034   | 0,23 | 0,13 | 0,78 | 25,0  | 5,42 | 0,41 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 0,028   | 0,34 | 0,21 | 0,77 | 8,4   | 4,22 | 0,32 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,036   | 0,19 | 0,15 | 0,75 | 15,5  | 4,44 | 0,41 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,17 | 0,21 | 0,83 | 19,0  | 4,42 | 0,40 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,035   | 0,17 | 0,22 | 0,82 | 20,0  | 4,33 | 0,39 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,033   | 0,18 | 0,23 | 0,83 | 21,0  | 4,32 | 0,37 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,033   | 0,18 | 0,23 | 0,85 | 23,0  | 4,67 | 0,36 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,033   | 0,18 | 0,23 | 0,86 | 22,0  | 4,44 | 0,39 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 0,028   | 0,33 | 0,21 | 0,67 | 8,4   | 4,10 | 0,31 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,036   | 0,23 | 0,17 | 0,65 | 14,0  | 4,32 | 0,40 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,21 | 0,22 | 0,73 | 20,0  | 4,12 | 0,39 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,035   | 0,21 | 0,20 | 0,71 | 21,0  | 4,12 | 0,37 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,033   | 0,23 | 0,20 | 0,72 | 20,0  | 4,00 | 0,36 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,033   | 0,24 | 0,21 | 0,72 | 22,0  | 4,13 | 0,35 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,033   | 0,25 | 0,20 | 0,74 | 22,0  | 4,18 | 0,37 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |       |      |      |
| Контроль   | 0,028   | 0,31 | 0,21 | 0,67 | 5,40  | 3,32 | 0,31 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,036   | 0,20 | 0,17 | 0,64 | 13,0  | 4,42 | 0,39 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,035   | 0,21 | 0,19 | 0,69 | 20,0  | 3,53 | 0,37 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,035   | 0,21 | 0,18 | 0,70 | 23,0  | 3,18 | 0,34 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,033   | 0,20 | 0,19 | 0,70 | 24,0  | 3,36 | 0,34 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,033   | 0,20 | 0,18 | 0,71 | 26,0  | 3,65 | 0,34 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,033   | 0,22 | 0,19 | 0,72 | 23,0  | 3,44 | 0,35 |
| ФОН [111]  | 0,04    | 2,3  | 3    | 24,9 | 493,1 | 7,67 | 0,55 |
| ПДК [111]  | 2       | 6    | 3    | 23   | 100   | -    | 4,0  |

В остальные периоды развития лука также происходило снижение количества подвижного кадмия в почве по сравнению с фоновым вариантом в среднем на 2,7-8,3 %, причем при увеличении дозы вносимого ФГ происходило уменьшение концентрации Cd относительно варианта с применением только минеральных удобрений, а по сравнению с контролем на 5-25 % больше.

Содержание в почве подвижных форм свинца было 0,17-0,41 мг/кг, что в 14,6-35 раз меньше установленных норм (ПДК). Максимальные значения выявлены на контрольном варианте, а внесение как минеральных удобрений, так и совместно с ФГ способствовало снижению концентрации Pb в 1,5-2 раза, причем действие фосфогипса не зависимо от нормы применения проявлялось в снижении количества подвижного свинца до 25 % в фазу образования луковицы.

Значения концентрации подвижных форм меди варьировали от 0,13 до 0,23 и ниже ПДК в 13-23 раза. Наибольшее содержание подвижной меди в почве отмечено в фазу образования 5 листа на контрольном варианте. Применение фонового удобрения и фосфогипса привело к снижению содержания меди на 22-39 % по отношению к контролю. Аналогичные данные получены в фазу образования луковицы: фоновое удобрение и фосфогипс уменьшили количество подвижных форм меди в почве до 38 %. В период активного роста и созревания луковицы значения по вариантам варьируют в пределах 0,20-0,23 мг/кг. К моменту технической спелости лука на фоновом варианте и с применением ФГ снижение концентрации меди относительно контроля составило 9,5-26 %. В целом, использование минерального удобрения ведет к уменьшению содержания меди на 25-33 %, а дополнительное внесение ФГ снижает количество металла, за исключением фазы начала активного роста луковицы.

Количество подвижного цинка было во 24-42 раза ниже значений ПДК и составило от 0,55 до 0,98 мг/кг. Внесение минеральных удобрений N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> привело к снижению концентрации металла на 25 % в фазу образования 5 листа и на 18 % в период образования луковицы. В другие фазы развития лука

снижение незначительное и составляет 2,6-4,5 % или 0,02-0,03 мг/кг. Применение фосфогипса увеличивает концентрацию подвижных форм цинка на 3,0-16,4 % по сравнению с контролем и на 7,8-50,8 % относительно варианта ФОН. При этом доза фосфогипса практически не влияет на концентрацию металла в почве, полученные значения отличаются между собой на 0,01-0,05 мг/кг.

Подвижные формы марганца находились в концентрациях 5,4-32,0 мг/кг почвы, что ниже ПДК в 3-18,5 раз. Наименьшие значения, равные 5,4-11,4 были получены на контроле. Внесение только минеральных удобрений повышает концентрацию марганца в 1,7-2,4 раза относительно контрольного варианта. Дополнительное применение ФГ увеличивает содержание металла в почве до 19-32 мг/кг, что в 2,3-2,8 раза превышает контроль. В целом, повышение дозы вносимого фосфогипса ведет к возрастанию концентрации подвижного марганца в почве.

Содержание подвижного железа в исследуемой почве находилось в пределах 3,18-7,44 мг/кг, максимальные концентрации выявлены в фазу образования 5 листа. В течение развития луковицы содержание железа в почве снижалось относительно каждой предыдущей фазы. По всем фазам развития выявлены общие закономерности: наибольшая концентрация подвижного железа была на фоновом варианте, что превышало контроль на 5,2-33 %. Дополнительное внесение в почву ФГ снижает количество железа относительно фона на 2,7-28 %, но при этом значения в среднем выше контрольного индекса на 0,5-10,7 %. Наименьшая концентрация выявлена на вариантах с внесением фосфогипса в нормах 4-6 т/га за исключением фазы активного роста луковицы. Данные значения на 0,2-5,5 % меньше контроля.

Количество подвижной формы никеля в почвах варьировало от 0,31 до 0,46 мг/кг и было ниже ПДК в 9-13 раз. Наименьшие значения установлены на контрольном варианте, а применение удобрений повышает концентрацию никеля на 25,8-36,4 %. Внесение фосфогипса по сравнению с фоном снижает количество подвижных форм никеля на 0,01-0,07 мг/кг. При этом относительно

контроля эти значения выше на 9,6-28%, и с увеличением дозы фосфогипса до 8 т/га наблюдается снижение концентрации никеля в среднем на 2,3-12,2 % по отношению к вариантам ФОН + ФГ 2 т/га. Применение максимальной дозы мелиоранта (10 т/га) приводило во всех фазах развития лука к незначительному повышению концентрации металла в почве на 2,9-8,3 % по сравнению с предыдущим вариантом (ФОН + ФГ 8 т/га).

В целом, применение удобрений в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  по сравнению с контролем повышает концентрацию подвижных форм кадмия, марганца, железа и никеля, при этом снижается количество свинца меди и цинка на всех стадиях развития лука. Закономерность сохраняется и при дополнительном внесении в почву фосфогипса, исключением является концентрация подвижных форм цинка, которая была выше при применении всех изучаемых норм ФГ на протяжении всего вегетационного периода. Содержание меди с фазы начала активного роста и до полного созревания луковицы при внесении ФГ было близко к значениям контрольных вариантов.

Наибольшие концентрации подвижного кадмия, железа и никеля во все фазы развития выявлены на фоновом варианте, а свинца и меди – на контроле. Максимальные значения подвижных форм цинка были на вариантах при внесении ФГ в дозе 10 т/га. На контрольном варианте отмечены наименьшие концентрации кадмия и никеля, а цинка – на фоновом. В большинстве случаев минимальное содержание свинца в почве было в вариантах ФОН + ФГ в норме от 2 до 4 т/га. В период образования 5 листа – образование луковицы наименьшая концентрация меди выявлена при внесении 6-10 т/га фосфогипса, а с начала активного роста луковицы - на фоновом варианте.

Анализируя динамику изменения концентрации подвижных форм металлов в почве в зависимости от фазы развития лука, можно отметить следующие закономерности. Количество кадмия снижается с момента образования 5 листа и до начала активного роста луковицы. К фазе технической спелости концентрация металла в почве не меняется относительно предыдущих фаз.

На начальных этапах развития лука (5 лист-начало активного роста луковицы) наблюдается снижение содержания свинца за исключением варианта ФОН в фазу 5 листа. С начала активного роста до начала созревания происходит увеличение концентрации подвижного свинца кроме контрольного варианта, а к моменту уборки лука – количество металла в основном снижается или не меняется.

Подвижные формы меди экстрагируются из почвы в основном в период 5 листа-образования луковицы и с начала активного роста луковицы до технической спелости. Концентрация меди увеличивается только в фазу образования луковицы-начало созревания. За исключением контрольного варианта, где содержание металла не изменилось относительно предыдущей фазы развития. С начала созревания и до уборки количество подвижных форм меди в основном снижается или остается неизменным. Аналогичная тенденция характерна для цинка.

Количество марганца в почве с фазы образования 5 листа до начала активного роста луковицы снижается, а до начала созревания практически не меняется. До технической спелости лука также происходит уменьшение подвижного марганца на контрольном и фоновом вариантах, а при внесении фосфогипса наоборот, повышение концентрации относительно предыдущих фаз развития лука.

Для железа и никеля выявлена одинаковая закономерность в распределении металлов в почве по фазам развития лука: на всех этапах происходит снижение концентрации металлов в почве, что вероятно связано с активным потреблением данных элементов питания луком в течении всего вегетационного периода. Исключением являлись только фоновый вариант в период начала созревания - техническая спелость, где было увеличение содержания железа по сравнению с предыдущей фазой, и контрольный в фазу начала созревания и до наступления технической спелости луковицы, где не произошло изменение концентрации никеля.

Таким образом, можно заключить, что применение фонового удобрения ведет к увеличению концентрации подвижных форм Cd, Mn, Fe, Ni, а снижает при этом содержание Pb, Cu, Zn. Дополнительное внесение ФГ способствует снижению концентрации подвижных форм Cd, Pb, Fe, Ni по сравнению с фоном. Относительно контрольного варианта применение фосфогипса в большинстве случаев ведет к повышению концентрации металлов в почве, причем доза ФГ почти не влияет на изменение количества тяжелых металлов, т.к. расхода по вариантам опыта незначительные или меняются скачкообразно.

Подвижность кадмия составила от 5,0-11,4 %, наибольшие значения отмечены в фазу образования 5 листа 6,9-11,4 % (табл. 4.2.4). Внесение фонового удобрения уменьшает содержание подвижной формы относительно валовой на 1,8-3,1 %, по сравнению с контролем, во все фазы развития лука. Дополнительное применение фосфогипса увеличило подвижность кадмия относительно контроля в среднем на 0,5-2,2 %.

Значения концентрации подвижных форм свинца от валового содержания металла оказались практически одинаковыми в разные фазы развития лука и составила 1,8-3,2 %. Максимальные показатели (от 2,5 до 3,2 %) на всех стадиях развития луковицы были на контрольном варианте. Внесение минерального удобрения N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> способствовало снижению подвижности свинца на 0,5-1,2 % по сравнению с контрольным вариантом. Внесение фосфогипса во всех дозах также снижает концентрацию подвижных форм свинца относительно валового содержания в среднем на 0,2-1,1 % по сравнению с контролем. Однако данные значения на 0,1-0,4 % превышает фоновый вариант за исключением фаз образования и активного роста луковицы, где фосфогипс дополнительно снизил значения на 0,1-0,5 %.

Таблица 4.2.4 – Подвижность тяжелых металлов в почве под участками лука репчатого сорта Манас, %

| Вариант                | Элемент |    |    |    |    |    |    |
|------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|
|                        | Cd      | Pb | Cu | Zn | Mn | Fe | Ni |
| Образование 5-го листа |         |    |    |    |    |    |    |

| Вариант  | Элемент |     |     |     |      |     |     |
|--|---------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
|  | Cd      | Pb  | Cu  | Zn  | Mn   | Fe  | Ni  |
| Контроль   | 10,0    | 3,2 | 2,1 | 6,7 | 5,2  | 0,2 | 2,6 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 6,9     | 2,0 | 1,5 | 3,8 | 9,0  | 0,2 | 2,7 |
| + ФГ 2 т/га  | 10,5    | 2,4 | 2,0 | 6,7 | 12,4 | 0,2 | 2,9 |
| + ФГ 4 т/га  | 10,8    | 2,3 | 1,7 | 6,9 | 13,2 | 0,2 | 2,8 |
| + ФГ 6 т/га  | 11,4    | 2,3 | 1,4 | 6,9 | 13,8 | 0,2 | 2,8 |
| + ФГ 8 т/га  | 11,3    | 2,4 | 1,5 | 6,8 | 17,8 | 0,2 | 2,8 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 11,3    | 2,1 | 1,6 | 5,8 | 14,1 | 0,2 | 2,9 |
| Образование луковицы                               |         |     |     |     |      |     |     |
| Контроль   | 7,5     | 3,1 | 1,9 | 5,2 | 4,4  | 0,2 | 2,4 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 5,2     | 2,5 | 1,4 | 3,2 | 8,2  | 0,2 | 3,0 |
| + ФГ 2 т/га  | 9,0     | 2,2 | 1,8 | 5,2 | 10,6 | 0,2 | 2,9 |
| + ФГ 4 т/га  | 9,0     | 2,2 | 1,6 | 5,1 | 11,5 | 0,1 | 2,9 |
| + ФГ 6 т/га  | 8,9     | 2,2 | 1,3 | 5,2 | 11,5 | 0,2 | 2,8 |
| + ФГ 8 т/га  | 8,7     | 2,3 | 1,3 | 5,4 | 16,0 | 0,2 | 2,9 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 8,7     | 2,0 | 1,5 | 4,6 | 11,5 | 0,1 | 2,9 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |     |     |     |      |     |     |
| Контроль   | 6,8     | 2,8 | 1,9 | 5,9 | 3,9  | 0,1 | 2,5 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 5,0     | 2,0 | 1,3 | 4,3 | 7,5  | 0,1 | 2,7 |
| + ФГ 2 т/га  | 8,5     | 1,8 | 1,9 | 5,8 | 9,1  | 0,1 | 2,9 |
| + ФГ 4 т/га  | 8,5     | 1,8 | 2,1 | 5,7 | 9,2  | 0,1 | 2,8 |
| + ФГ 6 т/га  | 7,9     | 1,9 | 2,1 | 5,8 | 10,1 | 0,1 | 2,3 |
| + ФГ 8 т/га  | 7,9     | 1,9 | 2,3 | 6,0 | 12,8 | 0,2 | 3,0 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 7,5     | 1,8 | 2,2 | 5,0 | 10,2 | 0,1 | 2,4 |
| Начало созревания луковицы                         |         |     |     |     |      |     |     |
| Контроль   | 7,4     | 2,6 | 2,1 | 5,2 | 3,8  | 0,1 | 2,4 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 5,4     | 2,1 | 1,7 | 3,8 | 6,6  | 0,1 | 2,5 |
| + ФГ 2 т/га  | 9,2     | 1,9 | 2,2 | 5,2 | 9,5  | 0,1 | 2,8 |
| + ФГ 4 т/га  | 9,2     | 2,0 | 2,1 | 5,1 | 9,5  | 0,1 | 2,8 |
| + ФГ 6 т/га  | 9,2     | 2,3 | 2,0 | 5,1 | 9,4  | 0,1 | 2,3 |
| + ФГ 8 т/га  | 8,7     | 2,3 | 2,3 | 5,1 | 11,7 | 0,1 | 2,7 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 8,7     | 2,4 | 2,4 | 4,4 | 9,9  | 0,1 | 2,3 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |     |     |     |      |     |     |
| Контроль   | 7,8     | 2,5 | 2,3 | 5,2 | 2,4  | 0,1 | 2,6 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 5,6     | 1,8 | 1,8 | 3,8 | 6,0  | 0,1 | 2,6 |
| + ФГ 2 т/га  | 10,0    | 2,0 | 2,2 | 4,9 | 9,4  | 0,1 | 2,8 |

| Вариант      | Элемент |     |     |     |      |     |     |
|--------------|---------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
|              | Cd      | Pb  | Cu  | Zn  | Mn   | Fe  | Ni  |
| + ФГ 4 т/га  | 10,0    | 2,1 | 2,1 | 5,0 | 10,3 | 0,1 | 2,6 |
| + ФГ 6 т/га  | 9,4     | 2,0 | 2,2 | 5,0 | 11,2 | 0,1 | 2,3 |
| + ФГ 8 т/га  | 9,4     | 2,0 | 2,2 | 5,1 | 14,1 | 0,1 | 2,8 |
| + ФГ 10 т/га | 9,4     | 2,1 | 2,5 | 4,2 | 10,2 | 0,1 | 2,3 |

Подвижность меди варьировала в пределах 1,3-2,5 %, а максимальных значений достигает в фазу технической спелости лука (1,8-2,5 %). Внесение удобрения в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  снижает подвижность меди относительно контроля на 0,4-0,6 % в течение всего вегетационного периода. Использование фосфогипса приводит к снижению подвижности на 0,1-0,7 % в фазу образования 5 листа, на 0,1-0,6 % в фазу образования луковицы и на 0,1-0,2 % на стадии технической спелости лука. В период активного роста – начала созревания луковицы наблюдается небольшое увеличение подвижности меди до 0,4 % по сравнению с контролем. Наименьшая концентрация подвижной меди относительно валового содержания металла в почве (1,3-1,8 %) выявлена на фоновом варианте во все фазы развития лука, а также при внесении ФГ в норме 6 и 8 т/га в фазу образования 5 листа (1,4 и 1,5 %) и в фазу образования луковицы (1,3 %). Данные значения в среднем на 0,4-0,7 % ниже контрольного индекса.

Отношение подвижных форм цинка к валовому содержанию металла в почве варьировало в пределах 3,2-6,9 %, наибольшие значения выявлены в фазу образования 5 листа – от 3,8 % на фоновом варианте и до 6,9 % при внесении в почву ФГ в норме 4 и 6 т/га. Применение фонового удобрения приводит к снижению подвижности цинка в течение всего вегетационного периода на 1,4-2,9 % по сравнению с контролем. Внесение в почву ФГ в большинстве случаев дополнительно уменьшает подвижность металла до 0,6-1,0 % относительно контроля, наибольшее отклонение (0,6-1,0 %) выявлено при внесении 10 т/га фосфогипса. Однако в фазу образования 5 листа применение фосфо-

гипса в норме 4-8 т/га, а также в период образования и активного роста луковицы в норме 8 т/га несколько увеличивало подвижность цинка на 0,1-0,2 % по сравнению с контролем.

Подвижность марганца в опыте равнялась 2,4-17,8 %. Максимальные значения были в фазу образования 5 листа (5,2-17,8 %), а по мере развития лука подвижность снижалась и достигла своих наименьших значений в фазу технической спелости лука – от 2,4 % на контроле до 14,1 % на варианте ФОН + ФГ 8 т/га. В целом, внесение как фонового удобрения, так и ФГ значительно увеличивало подвижность марганца на 2,8-3,8 % при применении минерального удобрения, и на 5,6-12,6 % при внесении ФГ. Причем увеличение дозы фосфогипса приводит к росту подвижности металла, а максимальные значения во все фазы развития были получены при внесении 8 т/га ФГ. Превышение относительно контроля составило 7,9-12,6 %.

Значения подвижности железа варьировали от 0,1 до 0,2 %. В фазу образования 5 листа на всех вариантах опыта подвижность металла составила 0,2 %. К началу образования луковицы подвижность железа осталась прежней, за исключением вариантов с внесением ФГ в норме 4 и 10 т/га, где данный показатель снизился в 2 раза. С начала активного роста и до технической спелости лука отношение концентрации подвижных форм от валового содержания составило 0,1 % не зависимо от варианта опыта. Исключением был вариант ФОН + ФГ 8 т/га на стадии активного роста луковицы, где подвижность железа осталось равной 0,2 %.

Отношение подвижной формы никеля к валовому содержанию металла находилось в пределах 2,3-3,0 %. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  увеличивает подвижность на 0,1-0,6 % на всех стадиях кроме технической спелости лука, где показатель не изменился относительно контроля. В период образования 5 листа - образование луковицы внесение ФГ увеличивает подвижность никеля на 0,2-0,5 % по сравнению с контрольным вариантом. В фазы активного роста, начала созревания и технической спелости лука показатели подвижности металла были выше контрольного индекса на

0,2-0,5 % на вариантах опыта с внесением в почву ФГ в нормах 2, 4, 8 т/га. Применение же 6 и 10 т фосфогипса приводило к снижению подвижности никеля на 0,1-0,3 % по отношению к контролю. Данные значения являлись минимальными для этих фаз развития и равнялись 2,3-2,4 %, а в стадию образования 5 листа и начала образования луковицы наименьшая подвижность (2,4 %) была характерна для контрольного варианта.

Анализируя значения подвижности по вариантам опыта можно отметить следующие закономерности. Внесение только фонового удобрения понижает подвижность Cd, Pb, Cu, Zn, ведет к росту подвижности Mn, Ni, а на показатель подвижности Fe не влияет.

Внесение ФГ в дозе 2 т/га в основном повышает подвижность кадмия, марганца и никеля, уменьшает подвижность свинца, меди и цинка на стадии активного роста и технической спелости луковицы, а содержание железа относительно контроля не меняется.

В варианте опыта с внесением 4 т/га ФГ происходит увеличение подвижности кадмия, цинка (в фазу 5 листа), марганца, никеля и меди (в фазу активного роста луковицы), снижение подвижности свинца, меди (в фазу 5 листа, образования луковицы и технической спелости), цинка. При этом подвижность железа в основном не меняется. Аналогичные закономерности выявлены на варианте с внесением 6 т фосфогипса на га.

При внесении ФГ в норме 8 т/га большинство металлов становятся более подвижными, чем на контроле. Снижается лишь подвижность свинца на всех стадиях развития лука, меди в фазу 5 листа, образования луковицы и технической спелости, а также цинка в период созревания и технической спелости лука. Подвижность железа при этом не меняется.

Применение повышенной нормы ФГ (10 т/га) повлияло на подвижность металлов следующим образом: для кадмия, марганца и меди (в фазу активного роста, созревания и технической спелости) подвижность увеличилась, для свинца, цинка и никеля (в фазу активного роста, созревания и наступления тех-

нической спелости) снизилась, а подвижность железа не изменилась за исключением фазы образования луковицы, где значения подвижности уменьшилось на 0,1%.

В целом, можно отметить, что подвижность кадмия снижается с фазы образования 5 листа до начала активного роста луковицы, а далее до наступления технической спелости лука растет.

Подвижность свинца в основном падает в период образования 5 листа – начала активного роста луковицы. К фазе начала созревания подвижность свинца растет за исключением контрольного варианта, а к технической спелости в основном падает.

Процентное отношение подвижных форм меди относительно валового содержания уменьшается от фазы образования 5 листа к образованию луковицы, а далее до технической спелости лука подвижность металла в основном увеличивается или не меняется.

Значения подвижности цинка снижается с фазы образования 5 листа до начала образования луковицы и от начала активного роста до технической спелости лука. С момента образования луковицы до начала активного роста подвижность цинка уменьшилась.

Концентрация подвижных форм марганца относительно валового содержания металла в почве в основном снижается в течение всего вегетационного периода лука. Аналогичная закономерность наблюдается и для железа.

Подвижность никеля по фазам развития лука меняется неоднозначно: с момента образования 5 листа до образования луковицы возрастает на всех вариантах опыта кроме контроля, с начала активного роста до начала созревания луковицы в основном снижается, а к технической спелости увеличивается или не меняется.

Рассчитанный нами коэффициент концентрации ( $K_c$ ) показывает, во сколько раз концентрация подвижных форм тяжелых металлов в исследуемом образце почвы отличается от его регионального фонового содержания (табл.4.2.5). Расчетами установлено, что коэффициенты концентрации всех

изучаемых элементов не превышают 1 и металлы в почве содержатся в концентрациях ниже фонового регионального значения.

Однако относительные концентрации железа и никеля приближаются к фоновым значениям, их  $K_c > 0,5$ . По предложению И. С. Михайлова с соавторами (1967 г) содержание элементов, относительная концентрация которых колеблется в пределах 0,5-1,5, считается близким к фоновому содержанию и эти элементы записываются в части, предваряющей дробь.

Таблица 4.2.5 – Коэффициенты концентрации тяжелых металлов под участками лука репчатого сорта Манас при различных уровнях фосфогипса в почве

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| Образование 5-го листа                             |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,05    | 0,18 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,83 | 0,65 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,07    | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,97 | 0,84 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,06    | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,85 | 0,78 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,06    | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,82 | 0,76 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,06    | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,83 | 0,76 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,06    | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,87 | 0,76 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,06    | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,84 | 0,80 |
| Образование луковицы                               |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,04    | 0,17 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,70 | 0,60 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,05    | 0,12 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,84 | 0,82 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,05    | 0,10 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,72 | 0,75 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,69 | 0,73 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,05    | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,70 | 0,71 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,05    | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,74 | 0,69 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,05    | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,71 | 0,75 |
| Начало активного роста луковицы                    |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,04    | 0,15 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,55 | 0,58 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,05    | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,58 | 0,75 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,05    | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,58 | 0,73 |

| Вариант  | Элемент |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | Cd      | Pb   | Cu   | Zn   | Mn   | Fe   | Ni   |
| + ФГ 4 т/га  | 0,05    | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,56 | 0,71 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,05    | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,56 | 0,67 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,05    | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 0,05 | 0,61 | 0,65 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,05    | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,58 | 0,71 |
| Начало созревания луковицы                         |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,04    | 0,14 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,53 | 0,56 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,05    | 0,10 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,56 | 0,73 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,54 | 0,71 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,54 | 0,67 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,05    | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,52 | 0,65 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,05    | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,54 | 0,64 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,05    | 0,11 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,54 | 0,67 |
| Техническая спелость луковицы                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Контроль   | 0,04    | 0,13 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,43 | 0,56 |
| N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,05    | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,58 | 0,71 |
| + ФГ 2 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,46 | 0,67 |
| + ФГ 4 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,41 | 0,62 |
| + ФГ 6 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,44 | 0,62 |
| + ФГ 8 т/га  | 0,05    | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,48 | 0,62 |
| + ФГ 10 т/га                                       | 0,05    | 0,10 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,45 | 0,64 |

Остальные элементы (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn) являются рассеивающимися, поэтому при написании геохимического ряда записываются в знаменателе дроби.

По средним значениям полученных коэффициентов концентрации был получен следующий геохимический ряд:

$$\text{Ni } 0.69 \text{ Fe } 0.63 = \frac{1}{\text{Pb } 0.10 \text{ Cu } 0.06 \text{ Cd } 0.05 \text{ Mn } 0,04 \text{ Zn } 0,03}$$

Для железа  $K_c$  составил от 0,41 до 0,97, для никеля – 0,56-0,84, поэтому концентрации данных элементов можно считать близкими к фоновым значениям. Далее по убыванию относительной концентрации расположились: свинец,  $K_c$  которого равнялась от 0,07 до 0,18, кадмий ( $K_c=0,04-0,07$ ), медь ( $K_c=0,04-0,08$ ), марганец ( $K_c= 0,01-0,06$ ) и цинк ( $K_c=0,02-0,04$ ).

Полученные коэффициенты концентрации для подвижных форм металлов в почве позволяют выявить следующие закономерности в зависимости от фазы развития лука: на начальных этапах развития, к фазе образования 5 листа самым накапливающимся элементом ( $K_c=0,83-0,97$ ) было железо, концентрация которого очень близка к фоновому содержанию. Далее со значениями  $K_c$ , равными 0,65-0,84 находился никель. Намного меньше относительно фонового значения оказалась концентрация подвижных форм свинца, кадмия, меди, марганца и цинка, который является самым рассеиваемым элементом на большинстве вариантах опыта, независимо от периода развития лука.

Для фазы образования 5 листа на большинстве вариантов опыта последовательность элементов по убыванию  $K_c$ : Fe-Ni-Pb-Cd-Cu-Mn-Zn. С начала образования луковицы концентрация железа снижается, что повлияло на последовательность элементов в геохимическом ряду: никель становится наиболее накапливающимся, а железо перемещается на 2 место. Также происходит изменение относительной концентрации меди и кадмия, в большинстве случаев в период образования луковицы и до уборки урожая кадмий является более рассеиваемым элементом, чем медь. И геохимический ряд для большинства вариантов опыта: Ni-Fe-Pb-Cu-Cd-Mn-Zn. В течение всего вегетационного периода было отмечено, что концентрация подвижного марганца увеличивается по сравнению с контрольным вариантом при внесении в почву удобрений и фосфогипса. На фоновом варианте относительная концентрация марганца становится равной цинку, а при внесении ФГ – превышает ее. Как следствие, цинк становится самым рассеиваемым элементом.

Период начало активного роста луковицы и до технической спелости характеризовался одинаковым распределением элементов по их накоплению и

рассеянию. В целом геохимический ряд можно отразить следующим образом (по убыванию Кс элементов): близкие к фоновым значениям являются Ni, Fe, рассеивающиеся элементы - Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, для контрольных вариантов. Для вариантов с внесением удобрений и ФГ ассоциация рассеивающихся элементов меняется: Pb, Cu, Cd, Mn, Zn.

С наступлением технической спелости лука Кс железа меньше 0,5, и данный элемент становится рассеивающимся, но последовательность элементов сохраняется. Учитывая средние значения коэффициентов концентрации для данной фазы развития лука, можно записать геохимический индекс:

$$Ni\ 0,63 = \frac{1}{Fe\ 0,46\ Pb\ 0,10\ Cu\ 0,06\ Cd\ 0,05\ Mn\ 0,04\ Zn\ 0,03}$$

В целом на контроле преобладают подвижные формы железа и никеля, а наименьшее количество марганца. Внесение удобрения у дозы N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> привело к изменению относительного содержания железа и никеля: более рассеивающимся стало железо. Относительные концентрации меди и кадмия, а также марганца и цинка становятся одинаковыми. Дополнительное внесение в почву ФГ приводит к увеличению подвижности марганца, и как следствие в среднем по всему вегетационному периоду его Кс больше, чем у цинка независимо от нормы фосфогипса, а цинк в свою очередь становится самым рассеивающимся элементом по значениям концентрации подвижных форм металла.

### **4.3 Накопление тяжелых металлов луковицами репчатого лука**

Изучали накопление тяжелых металлов в зрелых луковицах лука сортов Визион и Манас. Анализ полученных данных показал, что концентрация всех изучаемых металлов, кроме свинца, была ниже критической (табл.4.3.1).

Содержание кадмия в луковицах обоих сортов превышает фоновые значения, представляющие собой усреднённые данные о содержании контролируемых элементов в почвенном покрове рассматриваемого региона, в 2-3 раза. Концентрация свинца на всех вариантах опыта оказалась выше фоновой в 1,9-

3 раза и в 2,2-3,3 раза для сортов Манас и Визион, соответственно. Остальные элементы находились в концентрациях, значительно ниже фонового: цинк в 2-3,8 раз, медь в 26-68 раз, марганец в 9,7-35 раз, железо в 4,7-8,1 раз. Количество свинца в луковицах сорта Манас превышает критическую концентрацию в 1,06-1,66, а сорта Визион – в 1,22-1,72 раза. Содержание кадмия было в 1,1-1,7 раз меньше критической концентрации, цинка – 5-9 раз, меди в 10,6-28 раз, марганца в 104-376 раз, 10,4-18 раз и никель в 3-5,4 раз.

Таблица 4.3.1 – Содержание тяжелых металлов в луковицах лука репчатого сорта Манас, мг/кг

| № п.п.                     | Вариант  | Элемент, мг/кг |         |          |         |      |          |         |
|----------------------------|--|----------------|---------|----------|---------|------|----------|---------|
|                            |  | Cd             | Pb      | Zn       | Cu      | Mn   | Fe       | Ni      |
| <i>Сорт Манас</i>          |  |                |         |          |         |      |          |         |
| 1                          | Контроль   | 0,059          | 0,83    | 5,62     | 0,43    | 3,5  | 42,9     | 0,56    |
| 2                          | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,090          | 0,53    | 9,75     | 0,64    | 4,2  | 68,0     | 0,98    |
| 3                          | +ФГ 2 т/га   | 0,059          | 0,85    | 8,23     | 0,44    | 1,50 | 42,4     | 0,61    |
| 4                          | +ФГ 4 т/га   | 0,065          | 0,78    | 7,22     | 0,57    | 1,35 | 42,1     | 0,79    |
| 5                          | +ФГ 6 т/га   | 0,066          | 0,72    | 9,21     | 0,51    | 1,33 | 41,6     | 0,66    |
| 6                          | +ФГ 8 т/га   | 0,066          | 0,70    | 9,20     | 0,48    | 1,62 | 43,2     | 0,75    |
| 7                          | +ФГ 10 т/га  | 0,066          | 0,70    | 9,21     | 0,36    | 1,62 | 44,5     | 0,75    |
| <i>Сорт Визион</i>         |  |                |         |          |         |      |          |         |
| 1                          | Контроль   | 0,064          | 0,61    | 6,23     | 0,93    | 3,8  | 54,3     | 0,72    |
| 2                          | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,092          | 0,80    | 9,94     | 0,72    | 4,8  | 72,1     | 0,99    |
| 3                          | +ФГ 2 т/га   | 0,064          | 0,64    | 8,75     | 0,94    | 1,80 | 54,2     | 0,75    |
| 4                          | +ФГ 4 т/га   | 0,073          | 0,91    | 7,78     | 0,67    | 1,65 | 54,1     | 0,73    |
| 5                          | +ФГ 6 т/га   | 0,074          | 0,86    | 9,89     | 0,61    | 1,64 | 52,3     | 0,69    |
| 6                          | +ФГ 8 т/га   | 0,076          | 0,81    | 9,87     | 0,58    | 1,72 | 52,1     | 0,82    |
| 7                          | +ФГ 10 т/га  | 0,076          | 0,78    | 9,91     | 0,47    | 1,72 | 53,6     | 0,82    |
| ФОН                        |  | 0,03           | 0,28    | 21,3     | 24,5    | 46,7 | 336,4    |         |
| Критическая концентрация   |  | 0,100          | 0,50    | 50,00    | 10,0    | 500  | 750      | 3,0     |
| Нормальная концентрация    |  | 0,05 - 2       | 0,1 - 5 | 15 - 150 | 15 - 20 | 300  | 50 - 250 | 20 - 30 |
| Фитотоксичная концентрация |  | 100            | 60      | 400      | 20      | 300  | -        | 80,0    |

Содержание железа в луковицах сорта Визион находилось в интервале нормальной концентрации, а сорта Манас только на варианте ФОН, кадмия и

свинца, а содержание меди, цинка, марганца и никеля были значительно ниже установленного диапазона значений: для сорта Манас: в 23-56 раз, 1,5-27 раз, 71-226 раз, 20-54 раза соответственно; для сорта Визион: в 16-43 раза, 1,5-24 раза, 62,5-183 раза, 20-44 раза, соответственно.

Все изучаемые металлы находились в луковицах в концентрациях, не превышающих фитотоксичную концентрацию. Содержание кадмия оказалось в 1700-1100 раз ниже, свинца в 66-113 раз, цинка в 40-71 раз, меди в 21,0-55,5 раз, марганца в 62,5-226 раз, никеля в 80-143 раз меньше, чем установленная фитотоксичная концентрация.

В луковицах сорта Манас содержание кадмия составляло от 0,059 до 0,090 мг/г. Наибольшая концентрация выявлена на фоновом варианте  $N_{100}P_{100}K_{150}$ , что на 53 % превышает контроль. Дополнительное внесение ФГ несколько снижает количество свинца по сравнению с фоновым вариантом в среднем на 27-34 %. Минимальное содержание выявлено на варианте ФОН + ФГ 2 т/га, где концентрация равнялась значению контрольного варианта (0,059 мг/кг), а на остальных вариантах внесения ФГ количество кадмия в луковицах было на 10-12 % больше, чем на контроле.

Концентрация свинца равнялась 0,53-0,85 мг/кг. Внесение минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  снижает количество металла в луковицах на 36 % относительно контроля, а внесение ФГ в нормах 4-10 т/га снижает данный показатель на 6-16 %. при применении минимальной дозы мелиоранта - 2 т/га происходит незначительно повышение содержания свинца по сравнению с контролем на 2,4 %.

Количество цинка в луковицах варьирует в пределах 5,62-9,75 мг/кг, минимальное значение выявлено на контроле, а максимальное - на фоне минеральных удобрений  $N_{100}P_{100}$ , что в 1,7 раз выше. Применение ФГ также приводит к увеличению содержания цинка в луковицах на 28,5-63,9 %.

Содержание меди в луковицах было 0,36-0,64 мг/кг, максимальная концентрация выявлена на варианте опыта ФОН, где содержание меди превышает

контрольный вариант в 1,5 раза. Внесение ФГ в дозах 2-8 т/га приводит к повышению концентрации металла на 2,3-32,5 % относительно контроля, причем наибольшее значение получено при внесении ФГ в норме 4 т/га (0,57 мг/кг). Повышенная доза мелиоранта – 10 т/га способствовало снижению концентрации меди по сравнению с контролем на 16,3 %.

Количество марганца в опыте равнялось 1,33-4,2 мг/кг. Применение фонового удобрения приводит к увеличению концентрации металла в луковицах относительно контроля на 14,3 %, однако внесение ФГ резко снижает содержание марганца в 1,9-2,6 раза по сравнению с контролем и в 2,6-3,2 раза относительно фонового варианта.

Железо содержится в луковицах в концентрации 41,6-68,0 мг/кг. Минеральные удобрения N<sub>100</sub> P<sub>100</sub> значительно повысили количество металла на 58,5% в сравнении с контролем. При внесении ФГ концентрация железа сравнивается с контролем. Лишь на вариантах ФОН +ФГ 8 т/га и ФОН +ФГ 10 т/га значения концентрации превысили контроль на 0,7-3,7 %, соответственно.

Содержание никеля в изучаемых образцах луковиц сорта Манас варьировало от 0,56 до 0,98 мг/кг. Минимальное значение характерно для контрольного варианта, а наибольшее выявлено на варианте ФОН, где концентрация была на 75 % выше контроля. При внесении ФГ во всех нормах наблюдается рост концентрации никеля относительно контрольного варианта на 7-41 %. В основном, с повышением дозы ФГ отмечено повышение содержания металла в луковицах.

В луковицах сорта Визион содержание кадмия варьировало от 0,064 до 0,092 мг/кг, наибольшее значение – на варианте ФОН, что превышает контроль в 1,4 раза. Внесение ФГ в норме 2 т/га не влияет на содержание кадмия в луковицах. Более высокие нормы мелиоранта увеличивают концентрацию металла относительно контроля на 14-19 %.

Содержание свинца было 0,61-0,91 мг/кг. Внесение как минеральных удобрений, так и фосфогипса увеличивает количество свинца в луковицах на 5-49 %. максимальное значение, равное 0,91 мг/кг выявлено на варианте ФОН

+ФГ 4 т/га, что на 49 % превышает контроль и на 14 % выше, чем на варианте ФОН.

Количество цинка в изучаемых луковицах находилось в пределах 6,23-9,94 мг/кг. Наименьшая концентрация соответствует контрольному варианту, а максимальное значение выявлено на фоне применения минеральных удобрений N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>, при этом превышение составило 60 %. Внесение ФГ также увеличивает содержание свинца на 25-59 % относительно контроля.

Концентрация меди варьирует от 0,47 до 0,94 мг/кг. На варианте ФОН содержание меди на 23 % ниже, чем на контроле, а внесение фосфогипса снижает данный показатель на 31-50 % за исключением варианта ФОН + ФГ 2 т/га, где значение незначительно превысило контрольный вариант на 1 %. В целом, с увеличением дозы вносимого ФГ концентрация меди снижается.

Количество марганца в луковицах сорта Визион было от 1,64-4,8 мг/кг. Наибольшие значения, равные соответственно 3,8 и 4,8 выявлены на контрольном и фоновом варианте. Внесение ФГ резко снижало концентрацию металла в 2,1-2,3 раза по сравнению с контролем и в 2,7-3 раза относительно фонового варианта.

Содержание железа варьировало в пределах 52,1-72,1 мг/кг, максимальное значение выявлено на варианте ФОН. Превышение относительно контроля составило 33%. Внесение ФГ почти не влияет на содержание железа в луковицах по сравнению с контрольным вариантом: наблюдается незначительно снижение количества металла на 0,2-4,0 %.

Концентрация никеля равнялась от 0,69 на варианте ФОН + ФГ 6 т/га до 0,99 мг/кг на варианте ФОН. Внесение удобрения N<sub>100</sub>P<sub>100</sub> повышает содержание металла в луковицах на 37,5 %, а дополнительное применение ФГ – на 1,4-14 % кроме варианта ФОН + ФГ 6 т/га, где выявлено снижение количества никеля на 4,2 % относительно контроля.

Для характеристики распределения элементов между живым веществом и окружающей средой были вычислены коэффициенты накопления (К<sub>н1</sub>), ко-

торый характеризует переход химических элементов из почвы в растение, близок к КБП, но поглощение – физиологический процесс, а накопление – результат, как поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) – это отношение концентрации химического элемента в живом организме растений (в золе) к его концентрации в среде (валовое содержание в почве) (табл.4.3.2).

Таблица 4.3.2 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов луковичами лука репчатого сорта Манас и Визион при различных уровнях внесения фосфогипса

| № п.п.             | Вариант  | Элемент |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |  | Cd      | Pb    | Zn    | Cu    | Mn    | Fe    | Ni    |
| <i>Сорт Манас</i>  |  |         |       |       |       |       |       |       |
| 1                  | Контроль   | 0,164   | 0,066 | 0,432 | 0,047 | 0,016 | 0,013 | 0,047 |
| 2                  | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,141   | 0,047 | 0,574 | 0,069 | 0,020 | 0,017 | 0,065 |
| 3                  | + ФГ 2 т/га  | 0,169   | 0,080 | 0,588 | 0,050 | 0,007 | 0,013 | 0,047 |
| 4                  | + ФГ 4 т/га  | 0,186   | 0,076 | 0,516 | 0,068 | 0,006 | 0,011 | 0,061 |
| 5                  | + ФГ 6 т/га  | 0,189   | 0,071 | 0,658 | 0,058 | 0,006 | 0,013 | 0,044 |
| 6                  | + ФГ 8 т/га  | 0,189   | 0,069 | 0,657 | 0,059 | 0,009 | 0,014 | 0,063 |
| 7                  | + ФГ 10 т/га                                       | 0,189   | 0,068 | 0,542 | 0,048 | 0,007 | 0,012 | 0,050 |
| <i>Сорт Визион</i> |  |         |       |       |       |       |       |       |
| 1                  | Контроль   | 0,178   | 0,049 | 0,556 | 0,095 | 0,018 | 0,018 | 0,065 |
| 2                  | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,144   | 0,071 | 0,742 | 0,077 | 0,025 | 0,018 | 0,071 |
| 3                  | + ФГ 2 т/га  | 0,178   | 0,063 | 0,673 | 0,112 | 0,010 | 0,017 | 0,063 |
| 4                  | + ФГ 4 т/га  | 0,203   | 0,087 | 0,598 | 0,082 | 0,009 | 0,017 | 0,061 |
| 5                  | + ФГ 6 т/га  | 0,206   | 0,083 | 0,761 | 0,073 | 0,009 | 0,017 | 0,058 |
| 6                  | + ФГ 8 т/га  | 0,211   | 0,074 | 0,748 | 0,069 | 0,009 | 0,017 | 0,068 |
| 7                  | + ФГ 10 т/га                                       | 0,211   | 0,078 | 0,708 | 0,059 | 0,009 | 0,015 | 0,059 |

Согласно работам В.Б. Ильина и др. [64, 65, 66] коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывается как отношение содержания элементов в золе растений к их валовым содержаниям в почвах, при этом КБП отражает потенциальную биогеохимическую подвижность элементов. Элементы с КБП > 1 «накапливаются» живым веществом. Остальные элементы, у которых КБП < 1, лишь «захватываются».

Коэффициент биологического поглощения (КПБ) у изученных металлов на всех вариантах опыта с луком репчатым сорта Манас не превышал 1. Наиболее высокое значение было у цинка, при этом внесение удобрений и ФГ усиливает способность поглощения металла из почвы растениями в 1,2-1,5 раза.

Коэффициент биологического поглощения (КПБ) для лука сорта Визион на всех вариантах опыта оказался только у цинка и варьировал от 0,556 до 0,761. Внесение удобрений и ФГ усиливает способность поглощения металла из почвы растениями, и КПБ становится на 0,042-0,205 больше, чем на контроле. Остальные элементы имели КПБ ниже 0,3: для кадмия КПБ = 0,144-0,211; для свинца от 0,049 на контроле до 0,087 га варианте ФОН + ФГ 4 т/га; для меди – от 0,069 до 0,112; для марганца значения равнялись 0,09-0,025; для железа – 0,015-0,018; для никеля – 0,058-0,071. При этом внесение фонового удобрения увеличивает поглощения свинца, цинка, марганца и никеля, а снижает поглощение кадмия и меди. При внесении ФГ повышается поглощение кадмия, свинца и цинка, а поглощение меди (за исключением варианта ФОН + ФГ 2 т/га), марганца, железа и никеля снижается. В целом, Cd, Pb, Cu, Mn, Fe и Ni относятся к группе металлов, которые слабо поглощаются луковицами из почвы.

Для оценки тесноты биогеохимической связи состава живого организма с биосферой был рассчитан показатель биотичности элементов (ПБЭ), который является отношением содержания элемента в растениях к кларку земной коры (табл.4.3.3). По аналогии с КПБ, элементы со значениями показателя биотичности, равным 0,3 и выше, играют наиболее существенную роль в биологическом круговороте веществ в экосистеме [109]. Значения ПБЭ у лука репчатого сорта Манас, превышающие 0,3, выявлены только у кадмия, следовательно, этот элемент играет существенную роль в биологическом круговороте веществ экосистемы. Наибольшее значения получены на варианте опыта ФОН, что в 1,5 раза превышает контрольный индекс. Далее по убыванию ПБЭ расположились цинк-свинец-медь-никель-марганец-железо. Из этого следует,

что роль таких элементов, как Pb, Zn, Cu, Mn, Fe, Ni в общем круговороте веществ экосистемы незначительна, Cd, Pb, Cu, Mn, Fe, Ni - относятся к группе металлов, которые слабо поглощаются луковичами из почвы.

Значения ПБЭ у лука сорта Визион, превышающие 0,3 также выявлены только у кадмия, следовательно, элемент играет существенную роль в биологическом круговороте веществ экосистемы. Далее по убыванию ПБЭ расположились цинк-свинец-медь-никель-марганец-железо. Из этого следует, что роль этих элементов в общем круговороте веществ экосистемы незначительна.

Таблица 4.3.3 – Показатель биотичности тяжелых металлов луковичами лука репчатого сорта Манас и Визион при различных уровнях внесения фосфогипса

| № п.п.             | Вариант  | ПБЭ   |       |       |       |        |        |         |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
|                    |  | Cd    | Pb    | Zn    | Cu    | Mn     | Fe     | Ni      |
| <i>Сорт Манас</i>  |  |       |       |       |       |        |        |         |
| 1                  | Контроль   | 0,454 | 0,052 | 0,068 | 0,009 | 0,0035 | 0,0009 | 0,00966 |
| 2                  | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,692 | 0,033 | 0,117 | 0,014 | 0,0042 | 0,0015 | 0,01690 |
| 3                  | + ФГ 2 т/га  | 0,454 | 0,053 | 0,099 | 0,009 | 0,0015 | 0,0009 | 0,01052 |
| 4                  | + ФГ 4 т/га  | 0,500 | 0,049 | 0,087 | 0,012 | 0,0014 | 0,0009 | 0,01362 |
| 5                  | + ФГ 6 т/га  | 0,508 | 0,045 | 0,111 | 0,011 | 0,0013 | 0,0009 | 0,01138 |
| 6                  | + ФГ 8 т/га  | 0,508 | 0,044 | 0,111 | 0,010 | 0,0016 | 0,0009 | 0,01293 |
| 7                  | + ФГ 10 т/га                                       | 0,508 | 0,044 | 0,111 | 0,008 | 0,0016 | 0,0010 | 0,01293 |
| <i>Сорт Визион</i> |  |       |       |       |       |        |        |         |
| 1                  | Контроль   | 0,492 | 0,038 | 0,075 | 0,020 | 0,0038 | 0,0012 | 0,0124  |
| 2                  | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | 0,708 | 0,050 | 0,120 | 0,015 | 0,0048 | 0,0016 | 0,0171  |
| 3                  | + ФГ 2 т/га  | 0,492 | 0,040 | 0,105 | 0,020 | 0,0018 | 0,0012 | 0,0129  |
| 4                  | + ФГ 4 т/га  | 0,562 | 0,057 | 0,094 | 0,014 | 0,0017 | 0,0012 | 0,0126  |
| 5                  | + ФГ 6 т/га  | 0,569 | 0,054 | 0,119 | 0,013 | 0,0016 | 0,0011 | 0,0119  |
| 6                  | + ФГ 8 т/га  | 0,585 | 0,051 | 0,119 | 0,012 | 0,0017 | 0,0011 | 0,0141  |
| 7                  | + ФГ 10 т/га                                       | 0,585 | 0,049 | 0,119 | 0,010 | 0,0017 | 0,0012 | 0,0141  |

Для характеристики распределения элементов между живым веществом и окружающей средой были вычислены коэффициенты накопления (Кн1), который характеризует переход химических элементов из почвы в растение, близок к КБП, но поглощение – физиологический процесс, а накопление – результат, как поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов.

Значения коэффициента накопления, превышающие 1, не выявлено ни для одного из изучаемых элементов, следовательно, можно утверждать, что накопление металлов в луковицах идет только из почвы, не используя элементы из атмосферы и других сфер экосистемы. В этом случае превалирует загрязнение растений из почвы. Наиболее близким к 1 оказался коэффициент цинка – от 0,556 до 0,761.

Значения коэффициента накопления, больше 1, указывающее на то, что накопление ТМ в луковицах идет не только из почвы, но и из атмосферы, не было выявлено ни для одного из элементов на всех вариантах опыта. Следовательно, можно утверждать, что загрязнение растений металлами происходит преимущественно из почвы.

Таким образом, согласно рядом биологического поглощения, цинк является элементом наиболее высокий коэффициент биологического поглощения у цинка ( $KПБ_{Zn} > 0,3$ ), но  $ПБЭ_{Zn} < 0,3$ , следовательно, элемент не играет значительную роль в общем круговороте веществ в исследуемой экосистеме почва-растение. Активно вовлекаются в общий круговорот элементов только кадмий ( $ПБЭ_{Cd} = 0,454-0,692$ ) у лука сорта Манас, и у лука сорта Визион ( $ПБЭ_{Cd} = 0,492-0,708$ ). Кадмий слабо поглощается луковицами из почвы,  $КБП_{Cd}$  меньше 0,3. Остальные металлы имеют низкие коэффициенты поглощения и не являются биотичными элементами, так как их  $КБП$  и  $ПБЭ$  ниже 0,3. Из рассчитанных значений коэффициентов накопления можно сделать вывод, что все изучаемые металлы (Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Fe, Ni) поглощаются и накапливаются в растениях преимущественно из почвы.

Уменьшение коэффициента происходит для марганца на 0,007 - 0,010. Значения  $КБП$  для железа меняется неоднозначно: на 8 т/га отмечено увеличение на 0,001, при внесении 4 и 10 т/га снижение на 0,001 - 0,002, а внесение 2 и 6 т/га не повлияло на изменение коэффициента. Для никеля произошло увеличение на 0,003-0,016 при внесении 4, 8 и 10 т/га, а при применении 6 т/га – снижение коэффициента на 0,003. Доза мелиоранта, равная 2 т/га не повлияла на изменение  $КБП$ .

ПБЭ увеличивается при внесении фосфогипса во всех нормах для кадмия на 0,046-0,054 (кроме варианта ФОН + 2 т/га, где показатель равен контролю), цинка на 0,019-0,043, меди при внесении 4-8 т/га фосфогипса на 0,001-0,003, никеля на 0,00092-0,00333. На ПБЭ железа внесение ФГ не влияет, а коэффициент для марганца снижается на 0,0019-0,0022 относительно контроля.

Для сорта Визион выявлены следующие закономерности. Наблюдается повышение КБП для кадмия на вариантах с внесением от 4 до 10 т/га на 0,026-0,033, свинца и цинка на всех нормах внесения ФГ на 0,014-0,038 и 0,042-0,205, соответственно. Увеличение КБП по отношению к контролю выявлено для меди при внесении 2 и 4 т/га ФГ на 0,013-0,017 и никеля на 0,003 только при внесении 8 т/га. В остальных случаях происходит снижение коэффициента: у меди на 0,013-0,026 при внесении 6-10 т/га, у никеля на вариантах с применением 2,4,6,10 т/га на 0,002-0,007, у марганца и железа на всех нормах применения на 0,008-0,009 и 0,001-0,003 соответственно.

ПБЭ увеличивается при внесении ФГ у следующих элементов: кадмия на 0,070 - 0,093 (кроме нормы 2 т/га, где значения равны контролю), свинца на 0,002 - 0,019, цинка на 0,019 - 0,044, никеля на 0,0005 - 0,0017 (кроме варианта ФОН + 6 т/га, где выявлено снижение ПБЭ на 0,0005). ПБЭ меди снижается при внесении 4 - 10 т/га ФГ на 0,006 - 0,010, марганца на 0,0020 - 0,0022.

## 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛУКА РЕПЧАТОГО

### 5.1. Урожайность репчатого лука при использовании фосфогипса

Данные по урожайности лука сорта Манас представлены в таблице 5.1.1. Урожайность, полученная с опытных вариантов, варьировала в 2021 году от 35,0 т/га на контроле до 64,3 т/га на варианте ФОН +ФГ 10 т/га. Внесение минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  обеспечило достоверную прибавку урожая в 20 т/га по сравнению с контрольным вариантом. Дополнительное применение ФГ в качестве мелиоранта в дозах 2 и 4 т/га увеличило данный показатель на 23 т/га по сравнению с контролем и на 3 т/га по сравнению с фоном. Повышение нормы ФГ до 6 т/га дало прибавку урожая, равную 28,4 т/га и 8,4 т/га по отношению к контролю и фону соответственно. При внесении 8 т ФГ на га наблюдается небольшое снижение урожайности относительно предыдущего варианта на 3,6 %. Однако, при внесении максимальной дозы фосфогипса (10 т/га) был получен наибольший урожай, равный 64,3 т/га, что на 83,7 % превосходит контроль и на 16,9 % превышает значение, полученное на фоне.

Таблица 5.1.1 – Урожайность лука репчатого сорта Манас, 2021-2023 гг., т/га

| Вариант опыта           | 2021        | 2022        | 2023        | Среднее значение | Отклонение от контроля |       |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------------|-------|
|                         |             |             |             |                  | т/га                   | %     |
| Контроль                | 35,0        | 38,0        | 36,0        | 36,3             | 0                      | 100,0 |
| $N_{100}P_{100}K_{150}$ | 55,0        | 62,3        | 67,8        | 61,7             | 25,4                   | 170,0 |
| + ФГ 2 т/га             | 58,0        | 65,1        | 71,4        | 64,8             | 28,5                   | 178,5 |
| + ФГ 4 т/га             | 58,0        | 68,4        | 73,3        | 66,6             | 30,3                   | 183,5 |
| + ФГ 6 т/га             | 63,4        | 69,7        | 73,5        | 68,9             | 32,6                   | 189,8 |
| + ФГ 8 т/га             | 61,1        | 73,1        | 71,1        | 68,4             | 32,1                   | 188,4 |
| + ФГ 10 т/га            | 64,3        | 71,1        | 68,0        | 67,9             | 31,5                   | 186,8 |
| <i>HCP 05</i>           | <i>1,28</i> | <i>1,39</i> | <i>1,06</i> |                  |                        |       |

В более благоприятных погодных условиях 2022 года полученный урожай был выше, чем в 2021 году и составил от 38,0 до 73,1 т/га. Наибольшее значение было характерно на варианте опыта с применением фонового удобрения с ФГ в норме 8 т/га. Прибавка по отношению к контролю составила 35,1 т/га или 92,4 %, а относительно фона — 10,8 т/га или 17,3 %. Внесение ФГ в норме 10 т/га привело к снижению урожайности на 2 т/га относительно предыдущего варианта (ФОН +ФГ 8 т/га).

В целом по 2023 году произошло повышение урожайности относительно 2022 года, значение урожайности составило 36,0 - 73,5 т/га. Получение максимальной урожайности как за 2023 год, так и за 3-х летнее наблюдение обеспечил вариант опыта ФОН +ФГ 6 т/га. Применение повышенных норм мелиоранта (8 и 10 т/га) несколько снижало урожайность, относительно максимальной на 2,4-5,5 т/га. Однако, все варианты с внесением ФГ превосходили контроль и фон в среднем на 0,3-1,04 %.

Обобщив полученные данные трехлетнего опыта, были получены средние значения урожайности, а также подсчитана прибавка к контролю. В среднем урожайность лука сорта Манас варьировала от 36,3 до 68,9 т/га, наибольший показатель выявлен на варианте опыта ФОН +ФГ 6 т/га, что превосходит контроль на 31 т/га или на 85,3 %.

При внесении фонового удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  достоверная прибавка урожая составляет 25,4 т/га. Дополнительное внесение ФГ увеличивает данный показатель на 28,5-32,6 т/га или относительно фона на 3,1-7,2 т/га. В среднем за три года отклонение от контроля составило 170,0-189,8 %. Наибольшая прибавка урожая относительно контрольного варианта, равная 32,6 т/га или 89,8 % выявлена при внесении 6 т ФГ на га совместно с фоновым удобрением. Дальнейшее увеличение дозы мелиоранта до 8 и 10 т/га привело к незначительному снижению урожайности (на 0,5-1,1 т/га относительно варианта ФОН +ФГ 6 т/га) и прибавка составила 86,8-88,4 % по сравнению с контролем.

По результатам исследований можно сделать заключение, что внесение в почву фосфогипса на фоне применения минерального удобрения в норме

$N_{100}P_{100}K_{150}$  достоверно обеспечивает прибавку урожая лука сорта Манас в пределах 78,5-89,8 %, или 28,5-32,6 т с 1 га при его сборах на уровне 64,8-68,9 т/га. Однако, наибольшую прибавку урожая относительно контроля обеспечивает вариант опыта ФОН + ФГ 6 т/га. Данный показатель на 32,6 т/га превышает контроль и на 7,2 т/га больше, чем на фоне и отклонение от контроля и фона соответственно равны 189,8 % и 152,8 %.

Данные трехлетнего опыта возделыванию лука сорта Визион на черноземе обыкновенном в условиях южной агроклиматической зоны Самарской области представлены в таблице 5.1.2.

Таблица 5.1.2 – Урожайность лука репчатого сорта Визион, 2021-2023 гг., т/га

| Вариант опыта           | 2021        | 2022        | 2023        | Среднее значение | Отклонение от контроля |       |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------------|-------|
|                         |             |             |             |                  | т/га                   | %     |
| Контроль                | 37,0        | 38,0        | 36,0        | 37,0             | 0                      |       |
| $N_{100}P_{100}K_{150}$ | 52,0        | 61,4        | 63,8        | 59,1             | 22,1                   | 159,6 |
| + ФГ 2 т/га             | 53,2        | 62,4        | 66,8        | 60,8             | 23,8                   | 164,3 |
| + ФГ 4 т/га             | 55,5        | 63,9        | 67,9        | 62,5             | 25,5                   | 168,9 |
| + ФГ 6 т/га             | 60,3        | 64,7        | 66,7        | 63,9             | 26,9                   | 172,7 |
| + ФГ 8 т/га             | 61,1        | 65,1        | 65,4        | 63,8             | 26,8                   | 172,4 |
| + ФГ 10 т/га            | 60,6        | 64,4        | 63,1        | 62,9             | 25,9                   | 170,0 |
| <i>HCP 05</i>           | <i>1,09</i> | <i>1,12</i> | <i>0,90</i> |                  |                        |       |

Подсчетами выявлено, что урожайность репчатого лука, полученная с опытных вариантов в 2021 году, составила 37,0-61,6 т/га, максимальное значение получена на варианте ФОН + ФГ 10 т/га, что на 66,5 % превосходит контроль. Внесение минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  обеспечило достоверную прибавку урожая в 15 т/га по сравнению с контрольным вариантом. Дополнительное применение ФГ в качестве мелиоранта в дозе 2 т/га увеличило данный показатель на 16,2 и 1,2 т/га по сравнению с контролем и фоном соответственно. При внесении 4 т/га ФГ увеличивает урожайность еще на 2,2 т/га.

Повышение нормы ФГ до 6 т/га дало существенную прибавку урожая, равную 63 % и 16 % относительно к контрольным и фоновым вариантам, соответственно. При внесении 8 и 10 т ФГ на га урожайность продолжает увеличиваться, но не так значительно относительно предыдущего варианта.

Прибавка составила 0,8-1,3 т/га относительно варианта ФОН + ФГ 6 т/га или 1,3-2,2 %. При применении повышенной дозы ФГ (10 т/га) был получен наибольший урожай, равный 61,6 т/га, что на 66,5 % выше контроля и на 18,5 % превышает значение, полученное на фоне.

В сложившихся погодных условиях 2022 года полученный урожай был выше, чем в 2021 году, значения варьировали от 38,0 на контроле до 65,1 т/га на варианте опыта с применением фонового удобрения с ФГ в норме 8 т/га. Прибавка к контролю составила 27,1 т/га или 71,3 %, а относительно фона – 3,7 т/га или 6,0 %. Увеличение нормы внесения ФГ до 10 т/га привело к незначительному снижению урожайности на 0,7 т/га по сравнению с вариантом ФОН + ФГ 8 т/га. Прибавка к контролю составила 69,5 %, а относительно фона 4,9 %. В целом, применение ФГ способствует увеличению урожайности лука сорта Визион в 2022 году на 24,4 - 26,1 т/га, что составляет 164-169 % от контроля.

Анализируя результаты, полученные в 2023 году, можно отметить, что на большинстве вариантах опыта произошло повышение урожайности относительно предыдущих двух лет, и значение урожайности составило 37,0-67,9 т/га. Максимальная урожайности за 2023 год выявлена на варианте опыта ФОН + ФГ 4 т/га. Дальнейшее увеличение норм ФГ до 6, 8 и 10 т/га снижало урожайность относительно максимальной на 1,2-4,8 т/га. При применении фосфогипса в дозе 10 т/га значение урожайности в пределах ошибки опыта оказывается на уровне фона и составляет 63,1 т/га. В целом все варианты с внесением ФГ превосходили контроль в среднем на 75,3-88,6 %.

В среднем за 2121-2023 годы урожайность лука сорта Манас варьировала от 37,0 на контроле до 68,9 т/га при внесении 6 т/га ФГ совместно с фоновым удобрением. Прибавка к контролю составила 26,9 т/га или 72,7 %.

Применение только минерального удобрения в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  полученный урожай в среднем за 3 года на 22,1 т/га превышает контроль. Дополнительное внесение ФГ увеличивает данный показатель на 23,8-26,9 т/га и 1,7-4,8 т/га относительно контрольного и фонового варианта, соответственно. В среднем за три года при внесении ФГ значения урожайности лука составило 164,3-172,7 % от контроля. Наибольшая прибавка урожая (26,9 т/га) отмечена при внесении фосфогипса в норме 6 т/га совместно с фоновым удобрением. Применение повышенных доз мелиоранта (8 и 10 т/га) привело к незначительному снижению урожайности (на 0,1-1,0 т/га относительно варианта ФОН + ФГ 6 т/га) и отклонение от контроля составило 172,4-170,0 %.

Таким образом, внесение в почву удобрения в норме  $N_{100}P_{100}K_{150}$  совместно с ФГ обеспечивает большую прибавку урожая лука сорта Манас. Отклонение от контроля составляет 23,8-26,9 т/га или 164,3-172,7 %, тогда как на фоновом варианте эти значения равны 22,1 т/га и 159,6 %. Наибольшую прибавку урожая (26,9 т/га) относительно контроля обеспечивает вариант опыта ФОН + ФГ 6 т/га, что на 72,7 и 45,5 % превышает контрольный и фоновый вариант соответственно.

## **5.2. Экономическая оценка применения фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями**

За годы исследований (2021-2023 гг.) средняя урожайность лука репчатого сорта Визион варьировала от 36,0 до 67,9 т/га. Стоимость полученного урожая в денежном выражении в среднем за трехлетний период составила от 518,32 тыс. руб./га до 869,88 тыс. руб./га (табл.5.3). Производственные затраты на выполнение всех технологических операций, покупку удобрений и мелиоранта равнялись 536,14-569,94 тыс. руб./га. Затраты окупились на всех вариантах опыта, при этом минимальная прибыль, полученная с 1 га, была на контрольном варианте и составила 61,6 тыс. руб/га, рентабельность равнялась

12,32 %. Уровень рентабельности в опытах варьировал в пределах 40,73-54,40 %, а условно чистый доход составлял 225,5-306,5 тыс. руб./га.

Внесение минеральных удобрений и на их фоне ФГ потребовали дополнительных денежных затрат, которые в варианте опыта при  $N_{100}P_{100}K_{150}$  увеличились по сравнению с контролем в среднем на 17,4 тыс. руб./га. От внесения нормы ФГ 2 т/га увеличивается урожайность лука, что в свою очередь увеличивает стоимость произведенной продукции. При этом в среднем за 3 года исследований затраты на варианте опыта ФОН + ФГ 2 т/га составили 556,82 тыс. руб./га, что на 3,28 тыс. руб. больше, чем на фоновом варианте и на 20,86 тыс. руб. превышает контроль. Последовательное увеличение дозы ФГ на 2 т/га требовало дополнительных затрат в размере 3280 руб./га, и максимальные производственные затраты, необходимые для внесения фонового удобрения и ФГ в норме 10 т/га составили 569,94 тыс. руб./га. Внесение фосфогипса способствует росту урожайности в среднем на 78,5-89,8 % относительно контроля, благодаря чему затраты полностью окупаются и условно чистый доход на 279,1-324,3 тыс. руб./га выше контрольного варианта и на 35,8-81,0 тыс. руб./га превосходит фон. Уровень рентабельности при этом составляет от 46,93 до 54,40 %, что на 6,2-13,67 % больше, чем при применении только минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$ .

В среднем за годы исследований наибольшая прибыль и, соответственно, уровень рентабельности были получены на варианте ФОН + ФГ 6 т/га. Этому способствовало получение максимальной урожайности (68,9 т/га) среди всех вариантов опыта, что обеспечило высокую стоимость реализованной продукции, а также относительно небольшие затраты на покупку и внесение мелиоранта (563 380 руб./га), которые на 3,28-6,56 тыс. руб. меньше, чем при внесении 8 и 10 т ФГ на га. При этом повышенные дозы фосфогипса не обеспечили максимальную урожайность лука репчатого сорта Манас в среднем за три года.

Таблица 5.2.1 – Экономическая эффективность сортов лука репчатого сорта, 2021 – 2023 гг.

| Сорт/<br>вариант                                | Контроль | N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub> | +ФГ 2<br>т/га | +ФГ 4<br>т/га | +ФГ 6<br>т/га | +ФГ 8<br>т/га | +ФГ 10<br>т/га |
|---|----------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| <i>Сорт Манас</i>                               |          |  |               |               |               |               |                |
| Средняя урожайность за 3 года, т/га             | 36,3     | 61,70  | 64,80         | 66,60         | 68,90         | 68,40         | 67,80          |
| Стоимость реализации урожая<br>с 1 га, тыс.руб  | 561,32   | 779,02   | 818,13        | 840,87        | 869,88        | 863,53        | 855,93         |
| Производственные затраты<br>на 1 га, тыс. руб   | 499,74   | 553,54   | 556,82        | 560,1         | 563,38        | 566,66        | 569,94         |
| Прибыль с 1га, тыс. руб.                        | 61,6     | 225,5  | 261,3         | 280,8         | 306,5         | 296,9         | 286,0          |
| Рентабельность, %                               | 12,32    | 40,73  | 46,93         | 50,13         | 54,40         | 52,39         | 50,18          |
| <i>Сорт Визион</i>                              |          |  |               |               |               |               |                |
| Средняя урожайность за 3 года, т/га             | 37,0     | 59,1   | 60,8          | 62,5          | 63,9          | 63,8          | 62,9           |
| Стоимость реализации урожая<br>с 1 га, тыс. руб | 563,20   | 751,18   | 772,81        | 794,45        | 812,25        | 811,03        | 799,59         |
| Производственные затраты на 1 га,<br>тыс. руб   | 500,34   | 554,24   | 557,52        | 560,8         | 564,08        | 567,36        | 570,64         |
| Прибыль с 1га, тыс. руб.                        | 62,9     | 196,9  | 215,3         | 233,7         | 248,2         | 243,7         | 229,0          |
| Рентабельность, %                               | 12,56    | 35,53  | 38,62         | 41,66         | 44,00         | 42,95         | 40,12          |

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно отметить, что все варианты норм внесения в почву фосфогипса на посевах лука сорта Манас окупаются стоимостью реализации урожая. При этом внесение фосфогипса обеспечивает, по сравнению с контролем и фоновым вариантом, прибавку условно чистого дохода в среднем на 279,1-324,3 и 35,8-81,0 тыс. руб./га, соответственно.

Обобщение результатов трёхлетнего опыта позволяет заключить, что в южной агроклиматической зоне Самарской области на черноземе обыкновенном экономически наиболее целесообразно под посевы репчатого лука сорта Манас вносить фосфогипс в норме 6 т/га, т.к. в этом случае обеспечивается наибольшая прибавка урожая относительно контроля на 32,6 т/га. При этом происходит сравнительно небольшое увеличение производственных затрат и повышение получаемой прибыли и уровня рентабельности производства.

Результаты трехлетнего опыта, полученные на вариантах с репчатым луком сорта Визион подтверждают полученные ранее закономерности. При внесении фонового удобрения, а также при дополнительном использовании в качестве мелиоранта ФГ увеличивается урожайность лука на 22-27 т/га, причем максимальная урожайность, равная 63,9 т/га, получена при внесении 6 т/га ФГ. Это в свою очередь обеспечило повышение стоимости реализации товара с 1 га, значения которой составили в среднем за 3 года 523,1-812,25 тыс.руб./га.

Экономическими расчетами всех технологических операций были получены производственные затраты на контрольном варианте, которые составили 536,84 тыс. руб./га. Покупка удобрений и мелиоранта, а также их внесение привело к росту производственных затрат. Внесение минерального удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  увеличило расходы на 17,4 тыс. руб., а в вариантах с внесением ФГ данный показатель на 20,68-33,8 тыс. руб./га больше контроля и от 3,28 до 16,4 тыс. руб./га относительно фонового варианта. Таким образом, дополнительное внесение 2 т фосфогипса на га увеличивает производственные затраты в среднем за 3 года на 3,28 тыс. руб./га, но при сравнительно небольших затратах

достоверно возрастает урожайность лука, что позволяет получить большую прибыль, чем на контроле и фоне. В целом, как внесение минерального удобрения, так и его сочетание с ФГ позволяет получить прибыль в размере 196,9-248,2 тыс. руб. /га. В то время как на контрольном варианте прибыль составила 62,9 тыс. руб./га, а рентабельность 12,56 %.

Применение фонового удобрения  $N_{100}P_{100}K_{150}$  способствовало получению прибыли с 1 га в размере 196,9 тыс. руб., а также характеризовалось положительным показателем рентабельности, равным 35,53 %.

В варианте с внесением фосфогипса в норме 2,0 т/га прибыль составила 215,3 тыс. руб./га с рентабельностью в 38,62 %, что на 18,4 тыс. руб. с каждого га выше фонового варианта.

По мере увеличения нормы применения фосфогипса – до 4,0 т/га возрастал объем произведенной продукции, а, следовательно, и общая стоимость в среднем за 3 года на 51,9 %, что увеличило прибыль на 247,4 тыс. руб./га относительно контроля. По сравнению с фоновым вариантом, дополнительное внесение ФГ способствовало получению большей прибыли на 36,8 тыс. руб./га. В результате уровень рентабельности составлял 41,66 %.

Проведенный трехлетний опыт на посевах лука сорта Визион позволяет заключить, что повышение нормы внесения мелиоранта – до 6,0 т/га оказалось наиболее экономически эффективно. На этом варианте опыта отмечена существенная прибавка урожая по сравнению контрольным и фоновым вариантами, что в свою очередь увеличило стоимость реализованной продукции на 289,15 и 61,07 тыс. руб./га, соответственно, или на 55,3 и 8,1 %. Производственные затраты при этом выросли, но не настолько сильно, как при внесении еще более высоких доз (8 и 10 т/га) мелиоранта. Все это позволило достичь максимальной прибыли, равной 248,2 тыс. руб./га, и получить уровень рентабельности в 44,0 % при сравнительно небольших производственных затратах (564,08 тыс. руб./га),

что на 5% выше контрольного варианта. Следовательно, внесение 6 т/га мелиоранта в почвенно-климатических условиях хозяйства в среднем за 2021-2023 годы оказалось наиболее целесообразным, поскольку ведет к повышению прибыли полученной продукции. При этом действие фосфогипса пролонгировалось, как минимум на два последующих года, и будет обеспечивать прибавку урожая последующих культур севооборота.

В отличие от контрольного варианта внесение 8 т/га ФГ способствовало увеличению стоимости продукции на 287,93 тыс. руб./га и рентабельности на 45,51%. Однако, экономическая оценка варианта с внесением повышенной нормы фосфогипса (8 т/га) показала, что полученная стоимость реализации урожая близка к варианту с применением 6 т/га – 811,03 тыс. руб./га или на 1220 рублей меньше. При этом закономерно увеличиваются затраты на производство на 0,58 % по сравнению с предыдущим вариантом, поэтому чистая прибыль и рентабельность снижаются на 1,8 и 1,05 %, соответственно. Данная тенденция проявляется и в варианте с наибольшей дозой внесения ФГ (10 т/га): по сравнению с вариантом опыта ФОН + ФГ 6 т/га в среднем за 3 года несколько снижается урожайность на 1 т/га, что привело к уменьшению стоимости продукции на 1,6 %, при этом затраты выросли на 6000, а прибыль и рентабельность снизились на 7,7 и 3,88 %, соответственно. Относительно контроля и фона наблюдается положительный результат: полученная прибыль с 1 га растет на 242,7 и 32,1 тыс. руб./га, и рентабельность становится на 42,68 и 4,59 % больше, соответственно.

Таким образом, по результатам исследований можно сделать заключение, что все варианты норм внесения в почву фосфогипса на посевах лука сорта Визин окупаются полученным условно чистым доходом. При этом внесение фосфогипса обеспечивает, по сравнению с контролем и фоновым вариантом, прибавку условно чистого дохода в среднем на 229,0-261,9 и 18,4-51,3 тыс. руб./га, соответственно.

По итогам трёхлетнего опыта выявлено, что экономически наиболее целесообразно, под репчатый лук сорта Визион на черноземе обыкновенном южной агроклиматической зоны Самарской области вносить фосфогипс в норме 6 т/га, т.к. в этом случае обеспечивается существенная прибавка урожая при сравнительно невысоком увеличении производственных затрат и повышению уровня рентабельности производства.

## ВЫВОДЫ

1. На основании агрохимического обследования почвы исследуемого опытного участка, представленного черноземом обыкновенным остаточно-луговатым малогумусным среднемогучным среднесуглинистым, с учетом планируемой урожайности для лука репчатого сорта Манас 61,7 т/га, сорта Визион 59,1 т/га разработаны дозы минеральных удобрений в составе системы питания расчетного севооборота, которые составили  $N_{100}P_{100}K_{150}$  кг/га по д.в. и служили фоном при внесении фосфогипса. Запасы гумуса чернозема обыкновенного остаточно-луговатого среднемогучного среднесуглинистого составляют 374,9 т/га и характеризуют почвы как среднегумусированные. На всех вариантах опыта в севообороте с луком репчатым сорта Визион и сорта Манас баланс гумуса был отрицательный и составил – 1,90 т/га, его восстановление осуществимо при внесении органических удобрений для сорта Манас от 34,32 т/га до 36,36 т /га, для сорта Визион от 35,68 т/га до 39,09 т/га.

2. Почвы опытного участка относятся к хлоридно-сульфатному «с участием соды» типу засоления. При увеличении доз внесения фосфогипса происходит повышение величины плотного остатка, не превышающей контрольных значений: на фоне 2 т/га – 0,10 %, 4 т/га – 0,12 %, 6 т/га – 0,17 %, почва по степени засоления классифицируется как слабозасоленная. При внесении 8 -10 т/га фосфогипса содержание величины плотного остатка возрастает до 0,20-0,24 %, по классификации почва переходит в градацию средnezасоленной. Установлена прямая зависимость между увеличением дозы вносимого фосфогипса и содержанием кальция в почвах: при внесении 4 т/га – 17,27 ммоль/100 г, 6 т/га – 18,25 ммоль/100 г, что соответствует высокому содержанию, 8 т/га – 20,5 ммоль/100 г очень высокому. Соотношение  $Ca^{2+}: Mg^{2+}=5:1$  выявлено в контрольном и фоновом вариантах, при внесении фосфогипса это соотношение достигает 8:1, что превышает оптимальный уровень.

3. При внесении фосфогипса в почве увеличивается содержания нитратного ( $\text{NO}_3^-$ ) и легкогидролизуемого азота: контроль и фон  $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{150}$  очень низкое; 2 т/га и 4 т/га – низкое, 6 т/га, 8 т/га, 10 т/га – среднее. Соотношение азота к сере в почвах опытных участков находится в прямой зависимости от внесенного в почву от 4 до 10 т/га фосфогипса и составляет от 6:1 до 8:1. Внесение в почву фосфогипса оптимизирует кислотность почвы, уменьшая её на 0,4-0,6 ед. рН. На всех вариантах опыта обменная кислотность почвы находилась в оптимальном интервале рН 6,4-7,9, при увеличении дозы она изменялась в сторону подщелачивания. Емкость катионного обмена (ЕКО) в почве исследуемых участков изменялась от средней до высокой: на контрольном и фоновом вариантах и при внесении фосфогипса в дозах 2 и 4 т/га – средняя; 6, 8, 10 т/га – высокая. Содержание суммы оснований кальция и магния было ниже оптимума с колебанием от 25 % в варианте с внесением 10 т/га фосфогипса до 64 % на контрольном участке.

4. При внесении фосфогипса содержание всех изучаемых тяжелых металлов в почве находилось ниже ПДК в 2,5-6,0 раза. Накапливаемым элементом в исследуемых почвах был Cd. Накопление тяжелых металлов можно представить следующим геохимическим рядом: (сорт Манас/сорт Визион): Cd - (1,02/1,02) - Pb - (0,83/0,80) - Ni (0,51/0,49) - Cu (0,36/0,37) - Mn (0,29/0,29) - Zn (0,20/0,19) - Fe (0,10/0,11). Применение фосфогипса повышает концентрацию эссенциальных элементов Zn, Fe, Ni на 19,3 %, 20 %, 15,2 % соответственно, содержание Fe снижается на 3,3 %. Применение фосфогипса способствует увеличению концентрации в почве подвижных форм тяжелых металлов. На участках под сортом Манас подвижность Cd возрастала на 16 %, Mn – 90 %, Fe, Ni – 19 %, на участках под сортом Визион подвижность Pb, Cu, Zn, Mn, Ni увеличивалась на 23,5 %, 30 %, 15 %, 20 %, 26,5 % соответственно.

5. Геохимические ряды характеризующие почвы под участками лука репчатого отображены в виде ранжирования по убыванию Кс химических элементов:

$$\text{сорт Манас: Cd 0,88 Ni 0,69 Fe 0,63} = \frac{1}{\text{Pb 0,10 Cu 0,06 Mn 0,04 Zn 0,03}}$$

$$\text{сорт Визион: Cd 0,88 Fe 0,72 Ni 0,69} = \frac{1}{\text{Pb 0,12 Cu 0,06 Mn 0,04 Zn 0,03}}$$

Исходя из потенциальной биогеохимической подвижности металлов, согласно рядам биологического поглощения, для лука репчатого Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni являются элементами слабого накопления. Наиболее высокий КПБ у Zn, но его роль в общем круговороте веществ не значительна ( $\text{ПБЭ}_{\text{Zn}} < 0,3$ ). Для кадмия  $\text{ПБЭ}_{\text{Cd}} = 0,45 - 0,62$  для сорта Манас,  $\text{ПБЭ}_{\text{Cd}} = 0,49 - 0,71$  для сорта Визион,  $\text{КБП}_{\text{Cd}} < 0,3$ , что свидетельствует о его слабом поглощении растениями лука из почвы. Pb, Cu, Mn, Fe, Ni не проявились как биотичные элементами, их роль в биогеохимическом круговороте незначительна.

6. При внесении фосфогипса содержание тяжелых металлов в луковицах обоих сортов лука репчатого не превышает гигиенические нормативы и ниже фитотоксичной концентрации: Cd в 140 раз, Pb в 89,5 раз, Zn в 55,5 раз, Cu в 38,3 раза, Mn в 144 раза, Ni в 111,6 раза. Превышена допустимая концентрация по Pb, в луковицах сорта Манас в 1,36 раза, сорта Визион в 1,5 раза. Фоновое значение в луковицах обоих сортов превышено в 2-3 раза по содержанию Cd. На всех вариантах опыта концентрация Pb оказалась выше фоновой в 2,5 раза и 2,8 раза для обоих сортов соответственно. Остальные элементы находились в концентрациях, значительно ниже фонового: Zn в 2,9 раз, Cu в 47 раз, Mn в 22,4 раза, Fe в 6,4 раза. Сравнительная оценка качества луковиц выявила сортовые различия по содержанию изученных элементов: в луковицах сорта Визион оно в 1,0-1,1 раза превосходит луковицы сорта Манас, а по значениям Cu в 1,4 раза.

7. Максимальная урожайность у сортов лука репчатого сортов Манас и Визион была выявлена при внесении 6 т/га фосфогипса. В сравнении с контролем, урожайность лука сорта Визион увеличивается с 37,0 т/га до 63,90 т /га, прибыль с 1 га составила 306,5 тыс. рублей с 1 га при рентабельности 44 %; урожайность

лука сорта Манас возростала с 36,3 т/га до 68,90 т/га, рентабельность равнялась 54,4 %, прибыль с 1 га составила 248,2 тыс. рублей с 1 га.

### **ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ**

С целью получения стабильно высоких, экологически безопасных урожаев лука репчатого сорта Манас, на уровне 65 - 68 т/га, сорта Визион в пределах 61 -64 т/га и оптимизации кислотности орошаемого чернозема обыкновенного Самарского Заволжья с содержанием гумуса 4,5 и рН почвенного раствора 7,4-7,9 рекомендуем в качестве химического мелиоранта использовать фосфогипс с долевой концентрацией 70-80 % гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 2-3 % подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 15 % оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и 20-22 % кальция (Ca), в норме 6 т/га на фоне внесения минеральных удобрений в норме  $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{150}$ .

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Дальнейшая разработка темы имеет хорошие перспективы в научном и в практическом отношении. Интерес представляют вопросы разработки агроприемов, способствующих сохранению и повышению плодородия почв, увеличению объемов и качества сельскохозяйственной продукции за счет применения комплексной мелиорации в условиях интенсивного использования пашни. Внесение мелиорантов в каждой агроклиматической зоне требует изучения изменений в агрохимических и агрофизических свойствах почв, особенностей накопления и агроприемов по регулированию тяжелых металлов в почвах и растениях. Особенности фенологии растений, урожайности изучаемых сортов лука репчатого могут быть использованы при выделении лучших сортов реестра региона. Результаты исследований целесообразно использовать при разработке региональных технологий выращивания лука репчатого.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеенко С. С. Комплекс агроприемов повышает урожай и качество лука репчатого / С. С. Авдеенко, И. И. Бондарев // Картофель и овощи. – 2013. – № 1. – С. 5-7.
2. Авдеенко И. А. Современные способы орошения лука / И. А. Авдеенко, А. А. Григорьев, С. С. Авдеенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 1 (65). – С. 251-253.
3. Авдеенко С. С. Эффективность действия агроприемов при выращивании лука репчатого в условиях Ростовской области // Научные инновации – аграрному производству: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летнему юбилею агрономического факультета (20-21 февраля 2013 г.). – Омск: Изд-во ОмГАУ им П. А. Столыпина, 2013. – С. 224-227.
4. Аканова Н. И. Эффективность применения фосфогипса на темно – каштановых почвах в посевах подсолнечника / Н. И. Аканова, Л. Н. Дубровских, К. Е. Денисов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 1 (379). – С. 7 – 11.
5. Аканова Н. И. Вопросы оптимизации кислотности почв и баланса кальция / Н. И. Аканова, Г. Е. Гришин, Н. А. Комаров, О. Д. Шафронов // Нива Поволжья. - 2011.- №1 (18).- с. 1-6.
6. Аканова Н. И. Фосфогипс нейтрализованный -перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия (по материалам семинаров ОАО «МКХ» ЕвроХим») //Плодородие. - 2013.- №1(70).-С. 2-7.
7. Аканова Н. И. Эффективность фосфогипса, как химического мелиоранта и минерального удобрения на урожайность подсолнечника и кукурузы в условиях выщелоченного чернозема Краснодарского края / Н. И. Аканова, А. Х. Шеуджен, М. М. Визирская // Нива Поволжья. - № 2 (47). – 2018. – С. 2-7.

8. Алдошин Н.В. Современные технологии известкования для повышения эффективности сельскохозяйственных угодий / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.В. Голубев, И.А. Дроздов, Н.П. Мишуров, Л.А. Неменушая, Н.А. Пискунова, П.Д. Осмоловский, А.А. Манохина. аналит. обзор. - М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2021. – 96 с.

9. Айтбаев Т. Е. Основные итоги научных исследований по удобрению овощных культур и картофеля / Т. Е. Айтбаев, У. Ж. Сапарова // Современное состояние картофелеводства и овощеводства и их научное обеспечение: материалы Международной научно-практической конференции. – Алматы: Алейрон, 2006. – С. 494-499.

10. Акимова Т. А. Экология / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 455 с.

11. Алексеенко К. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда / К. А. Алексеенко. – М.: Наука, 1990. – 142 с

12. Алпатьев А. М. Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 248 с.

13. Анишко М. Ю. Выращивание лука репчатого на Нижней Волге: монография / М. Ю. Анишко, В. П. Зволинский, М. Ю. Пучков, В. Г. Головин. – Астрахань: издательство Сорокина Р. В., 2011. – 227 с.

14. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А. Н. Аристархов: под ред. В. Г. Минеева. – М. ЦИНАО, 2000. – 524 с.

15. Байбеков Р. Ф. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения. / Р. Ф. Байбеков, И. А. Шильников, Н. И. Аканова, М. Ю. Локтионов, А. Х. Шеуджен. М.: ВНИИА, 2012. - 43 с.

16. Байбеков Р.Ф. Применение отходов льнокомплекса как мелиорантов / Р. Ф. Байбеков, С. Л. Белопухов, Ю. А. Барыкина // Вестник научных конференций. 2019. N 7-2(47). С. 19-20
17. Балакай Г. Т. Современные технологические приемы возделывания овощных культур / Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, А. Н. Бабичев и др. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – 102 с.
18. Бекбаев Р. К. Мелиорирующая роль фосфогипса на орошаемых землях босейна рек Аса-Талас / Р. К. Бекбаев // Международный сельскохозяйственный журнал. - № 1. - 2017. - С. 5-11.
19. Белюченко И. С. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных нефтью почв / И. С. Белюченко, Е. П. Добрыдней, Е. И. Муравьев // Труды КубГАУ. - № 3(12). - 2008.- С. 72-77.
20. Бондаренко А. Н. Способы применения ростостимулирующих препаратов, направленные на повышение урожайности сортов и гибридов лука репчатого в условиях Астраханской области / А. Н. Бондаренко, О. В. Костыренко // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2020. – Т. 6. – № 1 (21). – С. 9-17.
21. Борисов Д. Н. Аспекты современного развития капельного орошения / Д. Н. Борисов, А. А. Пахомов // Аграрная наука – 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22-24 ноября 2022 г. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 163-166.
22. Боровой Е. П. Адаптивная технология возделывания репчатого лука на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Е. П. Боровой, О.А. Матвеева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2010. – № 4 (20). – С. 1 – 4.

23. Бородычев В. В. Орошение и удобрение репчатого лука / В. В. Бородычев, В. В. Выборнов, А. И. Болкунов // Труды Кубанского государственного аграрного университета: серия агроинженерия. – 2008. – № 2 – С. 17-21.

24. Бородычев В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур: научное издание / В. В. Бородычев. – Волгоград: Радуга, 2010. – 241 с.

25. Бутов И. С. Рынок семенного картофеля в России: тенденции и перспективы // Картофель и овощи. – 2023. – № 9. – С. 3-5.

26. Бушуев Н. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами в результате орошения городскими сточными водами / Н. Н. Бушуев, А. В. Шуравилин // Плодородие. – 2015. – № 2 (83). – С. 49-52.

27. Важенин И. Г. Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов – ингредиентов техногенных выбросов / И. Г. Важенин // Химия в сельском хозяйстве. – 1982. – № 3. – С. 3-5.

28. Васин Д. В. Современные подходы к нормированию содержания тяжелых металлов в почве / Д. В. Васин // Архивариус. – 2021. – № 3 (57). – С. 8-10.

29. Васин Д. В. Содержание тяжелых металлов в почвах разных агроклиматических зон Ульяновской области. Сравнительная характеристика распределения тяжелых металлов в почвах Ульяновской области и в соседних регионах (на примере Самарской области) / Д. В. Васин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 441-443.

30. Виноградов А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и окружающей средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Наука, 1985. – С. 7-20.

31. Витковская С. Е. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на поведение тяжелых металлов в системе почва-растение / С.Е. Витковская, О.Н. Яковлев, А.С. Оглуздин, В.И. Дубовицкая // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 3. – С. 31-34.

32. Витковская С. Е. Динамика кислотности дерново-подзолистой почвы в зависимости от дозы известкового мелиоранта / С.Е. Витковская, К.Ф. Шаврина // *Агрофизика*. - 2021. - №1. - С. 1 - 6.
33. Воеводина Л. А. Тенденции развития и перспективы применения капельного орошения / Л. А. Воеводина // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2012. – № 3. – С. 90-102.
34. Воробьева А. А. Лук / А.А. Воробьева. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 56 с.
35. Гайдукова Н. Г. Влияние агротехнических приемов на содержание тяжелых металлов в черноземе выщелоченном / Н. Г. Гайдукова, И. А. Лебедевский // *Масличные культуры*. – 2005. – № 1 (132). – С. 102 – 108.
36. Григоров С. М. Приемы повышения эффективности интенсивной технологии возделывания репчатого лука при капельном орошении / С.М. Григоров, Д.С. Винников // *Научное обозрение*. – 2015. – № 5. – С. 15-19. 37.
37. Гигиенические критерии состояния окружающей среды: свинец: под ред. Т. А. Воронова. – М.: Медицина, 1980. – 320 с.
38. Гикало Г. С. Технология возделывания овощных культур на Северном Кавказе / Г. С. Гикало, С. А. Фролов. – Краснодар, 1997. – С. 83-101.
39. Глебова И. В. Основные сорбционные параметры распределения ионов свинца в почвах Курской области / И. В. Глебова, А. И. Стифеев // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2012. – № 4. – С. 1-4.
40. Горчарук Е. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве / Е. И. Горчарук, Г. И. Сидоренко. – Медицина, 1986. – 320 с.
41. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Издательство стандартов, 1992.
42. ГОСТ 26423–85. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – М.: Издательство стандартов, 1985.

43. ГОСТ 26205–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – М.: Издательство стандартов, 1992.

44. ГОСТ Р 58330.2-2018 Мелиорация. Виды мелиоративных мероприятий и работ. Классификация. – утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2018-12-25. – N 1143-ст), 2018.

45. ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. (в ред. Изменения №1, утв. Приказом Росстандарта от 17.11.2023 № 1431-ст), 2019.

46. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. – Сорта растений (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 631 с.

47. Григоров М. С. Управление водным режимом почвы при капельном орошении лука / М. С. Григоров, С. М. Григоров, Д. С. Винников // Современное научное знание в условиях системных изменений: материалы I национальной научно-практической конференции. – Омский ГАУ имени П.А. Столыпина, 2016. – С. 16-19.

48. Гричаная Т. С. Технология капельного орошения при возделывании лука репчатого на юге Казахстана / Т. С. Гричаная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3 (59). – С. 164-168.

49. Дабахов М. В. Влияние агрохимических средств на подвижность свинца и кадмия в светло-серой лесной почве и поступление их в растения / М. В. Дабахов, Г. А. Соловьев, В. С. Егоров // Агрохимия. –1998. – № 8. – С. 54-59.

50. Дабахов М. В. Влияние агрохимических средств на поступление свинца и кадмия в растения на светло-серой лесной почве / М. В. Дабахов // Проблема экологии Ульяновской области. – Ульяновск, 1997. – С. 41-42.

51. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5 – С. 639-645.
52. Добровольский Г. В. Охрана почв. / Г. В. Добровольский, Л.А. Гришина. – М.: Изд-во Московского университета, 1985. – 224 с.
53. Добровольский В. В. Лабораторные работы по географии почв с основами почвоведения / В. В. Добровольский. – М.: Просвещение, 1973. – 143 с.
54. Добрыднев Е. П. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края / Е. П. Добрыднев, М. Ю. Локтионов // Плодородие. – №1. – 2013. – С. 7-9.
55. Докучаева Л. М. Влияние различных доз фосфогипса и технологии его внесения на урожайность сельскохозяйственных культур / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – № 50. – С. 68-73.
56. Долгов С.И., Бахтин П.У. Агрофизические методы исследования почв. - М.: Колос, 1966. - 156 с.
57. Дубенок Н. Н. Капельное орошение и удобрение репчатого лука / Н. Н. Дубенок, А. И. Болкунов, В. В. Бородычев, В. В. Афиногенов, В. В. Выборнов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 6. – С. 34-38.
58. Дубенок Н. Н. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22-24.
59. Дудина Н. Х. Агрохимия и система удобрения / Н. Х. Дудина, Е. А. Панова, М. П. Петухов - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.

60. Зарубин Г. П. Окружающая среда и здоровье / Г. П. Зарубин и др. – М.: Знание, 1977. – 128 с.
61. Зволинский В. П. Лук репчатый / В. П. Зволинский, Н. В. Тютюма, А. А. Шершнева, Н. А. Щербакова. – М., 2010. – 88 с.
62. Зволинский В. П. Продуктивность лука репчатого в условиях Нижнего Поволжья / В. П. Зволинский, А. А. Шершнева // Вестник АГАУ. – 2012. – № 12 (98). – С. 9-11.
63. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды и пути их решения / Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
64. Ильин В. Б. Поступление тяжелых металлов в растения при повышенном содержании в почве / В. Б. Ильин // Известия СО АИ СССР. Серия Биология. – 1981. – Вып. 10. – С. 49-56.
65. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин, – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
66. Ильин В. Б. О фоновом содержании тяжелых металлов в растениях / В. Б. Ильин, М. Д. Степанова // Известия СО АН СССР. Серия Биологические науки. – 1981. – Вып. 1. – № 5. – С. 26-32.
67. Имгрунт И. И. Экологические аспекты оптимизации почвенного плодородия Белореченского района Краснодарского края: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.16 / Рост. гос. ун-т. - Ростов-на-Дону, 2004. - 24 с.
68. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
69. Казаченко В. С. Технология выращивания репчатого лука на капельном орошении / В. С. Казаченко, В. В. Бородычев, С. Казаченко // Картофель и овощи. – 2011. – № 2. – С. 8.
70. Калинина О. В. Возможность рекультивации почв, загрязненных мазутом / О. В. Калинина, О. А. Мельник // I Всероссийская научная конференция.

Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. - Краснодар, 2009. - С. 216-219.

71. Калмыкова Е. В. Продуктивность лука репчатого при применении регулятора роста Энергия – М / Е. В. Калмыкова, Н. Ю. Петров, В. Б. Нарушев // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 2. – С. 7-11.

72. Калмыкова Е. В. Эффективность ресурсосберегающих приёмов возделывания лука репчатого при орошении в условиях Нижнего Поволжья / Е. В. Калмыкова, А. А. Новиков, Н. Ю. Петров, О. В. Калмыкова // Овощи России. – 2020. – № 1. – С. 58-63.

73. Ковда В. А. О биологической реакции растений на тяжелые металлы в среде. / В. А. Ковда, Б. И. Золотарева, И.И. Скрипниченко // Доклады АН СССР. – 1979. – Вып. 247 – № 3. – С. 766-768.

74. Козаренко А. Е. Свинец в растениях. Свинец в окружающей среде / А. Е. Козаренко. – М.: Наука, 1987. – С. 71-76.

75. Колесников С. И. Изучение возможности использования мочевины и фосфогипса в качестве мелиорантов нефтезагрязненных почв в модельном опыте / С. И. Колесников, Д. К. Азнаурьян // Агрехимия. - № 9. - 2011. - С. 77-81.

76. Костенко И. В. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах арборетума Никитского ботанического сада / И. В. Костенко, Е. В. Дунаевская // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2021. – № 160. – С. 38-49.

77. Кривошеен Д. А. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособ. для вузов / Д. А. Кривошеен, Л. А. Муравей, Н. Н. Роева: Под ред. Л. А. Муровой. – М., ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.

78. Кропивко О. Г. Накопление тяжелых металлов растительной продукцией / О. Г. Кропивко // Зеленый Луч. – № 7 (37). – 2001. – С. 41-44.

79. Кузнецов А. В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов [и др.]. – М.: ЦИНАО, 1992.

80. Кулыгин В. А. Влияние разных режимов орошения на эффективность использования оросительной воды при возделывании овощных культур и картофеля / В.А. Кулыгин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 65. – С. 339-348.

81. Литвиненко Н. В. Рост и развитие лука репчатого при применении гуминового препарата / Н. В. Литвиненко, И. В. Грехова, В. Г. Сузан // СибСкрипт. – 2015. – № 1-4 (61). – С. 22-24.

82. Литвинов С. С. Научные основы современного овощеводства / С. С. Литвинов. – М.: ВНИИО, 2008. – 771 с.

83. Лицуков С. Д. Агрэкологические особенности возделывания овощных культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами / С. Д. Лицуков, А. В. Акинчин // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 17-19.

84. Макарычев С. В. Дождевание и его негативное влияние на агрофизические свойства каштановых почв сухой степи Алтайского края / С. В. Макарычев // Владимирский земледелец. – 2020. – № 1 (91). – С. 17 -22.

85. Матвеева Н. И. Водообеспеченность – определяющий фактор эффективного развития лука репчатого / Н. И. Матвеева, Н. Ю. Петров, В. Б. Нарушев, В. П. Зволинский // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 11. – С. 18-22.

86. Медведев И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Дервягин. – Саратов: «Ракурс», 2017. – 178 с.

87. Мелихов В. В. Основные требования при организации территории орошаемых земель / В. В. Мелихов // Орошаемое земледелие. – 2020. – № 2. – С. 6-7.

88. Мельничук Ю. П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений / Ю. П. Мельничук. – Киев: Наук. думка, 1990. –148 с.

89. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: [В 7 вып.] / Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур при М-ве сельск. хоз-ва СССР. - Москва: Колос, 1971-. - 22 с.

90. Методические указания по совершенствованию технологий орошения и повышению эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. Ф. Снопич, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев, А. С. Капустян, Л. М. Докучаева, А. С. Штанько, А. Л. Кожанов, А. А. Кузьмичев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 147с.

91. Мещеряков М. П. Преимущества и недостатки систем капельного и внутрипочвенного орошения / М. П. Мещеряков // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2009. – № 1. – С. 49-50.

92. Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В. и др. Эколого - экономические основы и рекомендации по известкованию, адаптированные к конкретным почвенным условиям. СПб: ЦИНАО, 2000. 79 с.

93. Нестерова А. Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // Биологические науки. – 1989. – № 9. – С. 72-86.

94. Обилов Н. С. Качество лука репчатого в условиях Республики Башкортостан / Н. С. Обилов, Л. М. Ахиярова // Аграрная наука сельскому хозяйству: сборник статей. – Барнаул, 2017. – С. 226-227.

95. Овчинников А. С. Новые технические решения повышения эффективности ресурсосберегающих способов полива / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 1. – С. 119-124.

96. Окорков В. В. Использование фосфогипса в земледелии / В. В. Окорков // Плодородие. – №1. – 2013. – С. 20-25.

97. Орлов Д. С. Химическое загрязнение почвы и их охрана / Д. С. Орлов, М. С. Малинина, Г. В. Мотузова, Л. К. Садовникова, Т. А. Соколова. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 297 с.
98. Орлов Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
99. Парибок Т. А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия / Т. А. Парибок // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 82-99.
100. Парибок Т. А. Накопление свинца в городских растениях / Т. А. Парибок, Г. Д. Леина, Н. А. Сазыкина, В. Н. Топорский, Т. И. Николаева, Т. Б. Дьякова // Ботанический журнал. – 1981. – Т. 66. – № 11. – С. 1646-1654.
101. Петров Н. Ю. Эффективные элементы возделывания репчатого лука при капельном орошении / Н. Ю. Петров, Е. В. Калмыкова, О. В. Калмыкова, В. В. Зволинский // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1 (49). – С. 51-58.
102. Пивоваров В. Ф. Луковые культуры / В. Ф. Пивоваров, И. И. Ершов, А. Ф. Агафонов. – М., 2001. – 500 с.
103. Плескачев Ю. Н. Влияние агротехнических приемов на урожайность лука репчатого в условиях капельного орошения / Ю. Н. Плескачев, В. И. Чунихин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10 (96). – С. 26-29.
104. Плеханова И. О. Цинк и кадмий в почвах и растениях городской среды / И. О. Плеханова, А. И. Обухов // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. – С. 144-159.
105. Побединцева И. Г. О влиянии пород на содержание и распределение микроэлементов в почвах степной зоны / И. Г. Побединцева // Геохимические и

почвенные аспекты в изучении ландшафтов. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. – С. 199-209.

106. Позняк С. С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова / С. С. Позняк // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – № 1 (13). – С. 123-137.

107. Покровская С. Ф. Регулирование поведения свинца и кадмия в системе почва – растение / С. Ф. Покровская. – М.: Наука, 1995. – 51 с.

108. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование): науч.-метод. реком. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 116 с.

109. Протасова Н. А. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербакова, М.Т. Копаева. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1992. – 168 с.

110. Прохорова Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Изд-во "Самарский университет", 1998. – 131 с.

111. Прохорова Н. В. Территориальные особенности распределения тяжелых металлов в почвах Самарской области / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2000. – Т. 2. – № 2. – С. 306-310.

112. Прохорова Н. В. Тяжелые металлы в почвах административных районов Самарской области / Н. В. Прохорова // Вестник СамГУ, Естественнонаучная серия. Специальный выпуск. – 2002.

113. Пустовой И. В. Практикум по агрохимии: учебное пособие / И. В. Пустовой, В. И. Филин, А. В. Корольков. – М.: Колос, 1995.

114. Ресурсосберегающие основы орошаемого земледелия / В. В. Коринец, Т. А. Санникова, В. А. Мачулкина и др. – Астрахань, 2003. – 336 с.
115. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
116. Розов Н. Н. Принципы классификации почв / Н. Н. Розов // Доклады VI Международного конгресса почвоведов. 5-ая комиссия. Париж, 1956.
117. Рэутце К. Борьба с загрязнением почвы / К. Рэутце, С. Кырстя. – М.: Агропромиздат, 1986.
118. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» содержат: Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (зарегистрировано в Минюсте 29 января 2021 г. № 62296). 982 с.
119. Серегин И. В. Является ли барьерная функция эндодермы единственной причиной устойчивости ветвления корней к солям тяжелых металлов? / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – № 6. – С. 922-925.
120. Серегин И. В. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения / И. В. Серегин, А. Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2006. – Т. 53. – № 2. – С. 285-308.
121. Скорина В. В. Овощеводство. Луковые культуры. Курс лекций: учебно-методическое пособие / В. В. Скорина, В. Вит, Скорина, И. Г. Берговина. – Горки: БГСХА, 2020. – 60 с.
122. Скрипниченко И. И. Оценка токсического действия тяжелых металлов (свинца) на растения овса / И. И. Скрипниченко, Б. Н. Золотарева // Агрохимия. – 1981. – № 1. – С. 103-109.

123. Снопич Ю. Ф. Совершенствование технических средств орошения дождеванием/ Ю. Ф. Снопич. – Новочеркасск: Геликон, 2007. – С. 14-17.

124. Соловьева О. А. Влияние способов полива на эффективность возделывания овощных культур / О. А. Соловьева, М. А. Лихоманова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (61). – С. 161-174.

125. Соловьева О. А. Технология возделывания репчатого лука при капельном орошении/ О. А. Соловьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса – 2022. – № 1 (65) – С. 171-179.

126. Соловьева О. А. Энергетическая оценка режимов орошения при выращивании овощей в Волгоградской области / О. А. Соловьева, М. А. Лихоманова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 3 (51). – С. 172-177.

127. Способ мелиорации засоленных орошаемых земель [Электронный ресурс]: пат. 2649325 Российская Федерация: МПК А01В 79/02, С09К 17/00 / Бурлова В.Г, Зеленская Е.А. // ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет». – № 2015147934; заявл. 06.11.2015; опубл. 02.04.2018. – электрон. версия печ. публ. – Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2649325C2\\_20180402?ysclid=lvni95apsm887211792](https://yandex.ru/patents/doc/RU2649325C2_20180402?ysclid=lvni95apsm887211792).

128. Способ мелиорации орошаемых черноземов [Электронный ресурс]: пат. 2324331 Российская Федерация: МПК А01G 25/00 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Бородычев, А. М. Салдаев, Т. П. Андреева // ФГНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». – № 2006133800/12; заявл. 21.09.2006; опубл. 20.05.2008. – электрон. версия печ. публ. – Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2324331C1\\_20080520?ysclid=lvnj0a4hv2346864290](https://yandex.ru/patents/doc/RU2324331C1_20080520?ysclid=lvnj0a4hv2346864290).

129. Татаринцев Л. М. Пути предотвращения негативных последствий орошения черноземов и каштановых почв степного Алтая // Проблемы орошения

почв Сибири: сборник трудов Международной конференции. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 1988. – С. 26-33.

130. Тиво П. Ф. Тяжелые металлы и экология / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск: ЮНИПОЛ, 1996. – 192 с.

131. Титов А. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен: отв. ред. Н. Н. Немова. – Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.

132. Титова В. И. Экотоксикология тяжелых металлов: Учебное пособие / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – Н. Новгород: НГСХА, 2001. – 135 с.

133. Удовенко А. И. Технология возделывания лука репчатого при капельном орошении / А. И. Удовенко // Вестник овощевода. – 2009. – № 3. – С. 30-33.

134. Федеральный закон от 10.01.1996 № 4-ФЗ (ред. от 25.12.2023 г.) «О мелиорации земель» // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 3. – Ст. 142.

135. Федоров, Д.А. Разработка элементов интенсивной технологии выращивания первых российских гибридов лука репчатого в условиях Нечерноземья / Д.А. Федоров // Науч. конф. мол. ученых и спец., посв. 170-летию со дня рожд. К.А. Тимирязева: сб. статей. – 2014. – С. 47-48

136. Федорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 1997. – 305 с.

137. Ферапонтова С. А. Развитие и продуктивность гибридов лука репчатого при выращивании в посевной культуре в условиях Приобья / С. А. Ферапонтова // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 12 (104). – С. 38-41.

138. Филин В. И. Малозатратная система удобрения лука репчатого при капельном орошении / В. И. Филин, О. П. Казаченко // Аграрная наука – основа

успешного развития АПК и сохранения экосистем: материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград: ВолГАУ, 2012. – С. 65-69.

139. Филин В. И. Эффективность разных систем применения удобрений при капельном орошении лука репчатого / В. И. Филин, О. П. Казаченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 1. – С. 42-47.

140. Фокин А. Д. Почва, биосфера и жизнь на земле / А. Д. Фокин. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

141. Черемушкина В. А. Биология луков Евразии / В. А. Черемушкина. – Новосибирск, 1988. – 184 с.

142. Черкашина М. И. Орошение дождеванием лука репчатого в Республике Башкортостан / М. И. Черкашина, Р. Р. Алимгафаров, А. Г. Черкашина, И. Ю. Кузнецов // Аграрная наука – 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22-24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 295-298.

143. Черкашина М. И. Листовая диагностика минерального питания лука репчатого / М. И. Черкашина, Р. Р. Алимгафаров, А. Г. Черкашина, Л. М. Ахиярова, И. Ю. Кузнецов // Уральский научный вестник. – 2022. – Т. 2. – № 4. – С. 3- 8.

144. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. – СПб: Издательство СПб университета, 2002. – 244 с.

145. Чжоу Накопление тяжелых металлов в растениях при удобрении ОСВ и компостом / Чжоу, Дунсин // Плодородие. – 2006. – № 6. – С. 25-26.

146. Шатковский А. П. Режимы капельного орошения, водопотребление и урожайность раннего лука в зоне степи Украины / А. П. Шатковский, В. В. Васюта, А.В. Журавлев, Ю.А.Черевичный // Овощи России. – 2015. – № 2 (27). – С. 16-20.

147. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н., Аканова Н. И., Хурум Х. Д. Химическая мелиорация почв. Методическое пособие. Майкоп: Изд-во ООО "Полиграф-ЮГ", 2016. - 44 с.

148. Шильников И. А. Проблема снижения подвижности тяжелых металлов при известковании / И. А. Шильников, Н. И. Аканова // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 4. С. 29–32.

149. Шильников И.А. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия / И. А. Шильников, В. Г. Сычев, Н. А. Зеленов, Н. И., Аканова, Л. С. Федотова // М.: ВНИИА, 2008. – 340 с.

150. Шильников И. А. Известкование почв в условиях интенсификации земледелия (обзор) / И. А. Шильников, М. Н. Мельникова // Сельское хозяйство за рубежом. – 1977. – № 7. – С. 2-6.

151. Шильников И. А. Агрохиммелиорация основа для применения удобрений / И. А. Шильников // Плодородие. – 2006. – № 5 (32). – С. 24-26.

152. Экология и жизнь. М.: Наука, 2000. – № 4 (16). – С. 8-10.

153. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 1998. – 287 с.

154. Ясониди О. Е. Проектирование систем капельного орошения / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: НИМИ, 1984. – 100 с.

155. Akanova N.I., Vizirskaya M.M., Seregin M.B., Grebennikova T.V. Phosphogypsum - a gypsum-containing soil ameliorant // Phosphogypsum Leadership Innovation Partnership. 2020. - s. 41-50. IFA, Paris, June 2020 (Copyright © International Fertilizer Association)

156. Antosiewicz D. M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals / D. M. Antosiewicz // Acta Soc. Bot. Pol. – 1992. – V. 61. – P. 281-299.

157. Baker A.J.M. Accumulators and Excluders-Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals / A.J.M Baker // Journal of Plant Nutrition, 1981. – N 3. – P. 643-654.
158. Cakmak I. Uptake and retranslocation of leaf-applied cadmium ( $^{109}\text{Cd}$ ) in diploid, tetraploid and hexaploid wheats / I. Cakmak, R.M. Welch, J. Hart, W.A. Norvell, L. Oztürk, L.V. Kochian // J. Exp. Bot. – 2000. – V. 51. – N 343. – P. 221-226.
159. Choudhary M. Effect of zinc on cadmium concentration in the tissue of durum wheat / M. Choudhary., L. D. Bailey., C. A. Grant // Can. J. Plant Sci. – 1994. – V. 74. – P. 549-552.
160. Costa G. Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance /G. Costa., J. L. Morel // J. Plant Nutr. – 1993. – V. 16. – P. 1921-1929.
161. Costa G. Efficiency of  $\text{H}^+$  - ATPase activity cadmium uptake by four cultivars lettuce / G. Costa, J. L. Morel // J. Plant Nutr. – 1994. – V. 17. – P. 627-637.
162. Coughtrey P. J. Cadmium uptake and distribution in tolerant and nontolerant populations of *Holcus lanatus* grown in solution culture / P. J. Coughtrey., M. N. Martin // Oikos. – 1978. – V. 30. – P. 555-558.
163. Cunningham S. D. Promises and prospects of phytoremediation / S. D. Cunningham, D.W. Ow // Plant Physiol. – 1996. – V. 110. – P. 715-719.
164. Davis B. E. Trace elements in vegetables grown on soil contaminated by base metal mining / B.E. Davis, H.M. White // J. Plant. Nutr. – 1981. – V. 3. – N 3-4. – P. 387-396.
165. Dunbar K. R. The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.) / K. R. Dunbar, M. J. McLaughlin, R. J. Reid // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54. – N 381. – P. 349-354.

166. Enstone D. E. The apoplastic permeability of root apices / D. E. Enstone, C. A. Peterson // *Can. J. Bot.* – 1992. – V. 70. – P. 1502-1512.
167. Florjin P. J. Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines / Florjin P. J., M. L. Van Beusichem // *Plant Soil.* – 1993. – V. 150. – P. 25-32.
168. Godbold D. L. Cadmium uptake in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Seedlings / D. L. Godbold // *Tree Physiol.* – 1991. – N 9. – P. 349-357.
169. Godzic B. Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference areas / B. Godzic // *Polish. Bot. Stud.* – 1993. – V. 5. – P. 113-130.
170. Guo Y. L. Genotypic differences in uptake and distribution of cadmium and nickel in plants / Y. L. Guo, R. Schulz, H. Marschner // *Angew. Bot.* – 1995. – V. 69. – P 42-48.
171. Hall J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance / J. L. Hall // *J. Exp. Bot.* – 2002. – V. 53. – N 366. – P. 1-11.
172. Harris N. S. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grains cadmium accumulation / N. S. Harris, G. J. Taylor // *J. Exp. Bot.* – 2001. – V. 52. – N 360. – P. 1473-1481.
173. Hart J. J. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars / J. J. Hart, R. M. Welch, W. A. Norvell, L. A. Sullivan, L. V. Kochian // *Plant Physiol.* – 1998. – V. 116. – P. 1413-1420.
174. Hovmand M. F. Plant uptake of airborne cadmium / M. F. Hovmand, J. C. Tjell, H. Mosbaek // *Environ. Pollut. Ser. A.* – 1983. – V. 30. – P. 27-32.
175. Kannan, S. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects / S. Kannan // *J. Plant Nutr.* – 1980. – V. 2. – N 6. – P. 717-732.
176. Levitt J. Responses of plants to environmental stresses / J. Levitt. – V.2. Acad. Press. – 1980. – 606 p.
177. Little P.E. A study of heavy metal contamination of leaf surfaces / P. E. Little // *Environ. Pollut.* – 1973. – V. 5. – N 3. – P. 159-162.

178. Macnair M. R. Zinc tolerance and hyperaccumulation are genetically independent characters / M. R. Macnair, V. Bert, S. B. Huitson, P. Samitou-Laprade, D. Petit // *Proc. Royal Soc. Lond. Ser. B.* – 1999. – V. 266. – P. 2175-2179.
179. Macnair M. R. Life history variation in *Thlaspi caerulescens* / M. R. Macnair // *New Phytol.* – 2007. – V. 173. – P. 6-8.
180. Michaletz S. T. Plant thermoregulation: energetics, trait environment interactions, and carbon economics / S. T. Michaletz, M. D. Weiser, J. Zhou // *Trends in ecology & evolution.* – 2015. – Vol. 30. – N. 12. – P. 714-724.
181. Morel J. L. Measurement of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> binding with mucilage exudates from maize (*Zea mays* L.) roots / J. L. Morel, M. Mench, A. Guckert // *Biol. Fertil. Soils.* – 1986. – V. 2. – P. 29-34.
182. Picchioni G. A. Retention and the kinetics of uptake and export of foliage-applied, labeled boron by apple, pear, prune, and sweet cherry leaves / G. A. Picchioni, S. A. Weinbaum, P. H. Brown // *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* – 1995. – V. 120. – P. 28-35.
183. Prasad M.N.V. Cadmium Toxicity and Tolerance in Vascular Plants. *Environmental and Experimental Botany.* – 1995. – N 35. – P. 525-545.
184. Rauser W. E. Structure and function of metal chelators produced by plants / W. E. Rauser // *Cell Biochem. Biophys.* – 1999. – V. 31. – P. 19-48.
185. Reinders F. B. Micro-irrigation: world overview on technology and utilization / F. B. Reinders // Keynote address at the opening of the International Micro-Irrigation Congress in Kuala Lumpur. – Malaysia, 2006.
186. Sanità di Toppi L., Gabbrielli R. Response to cadmium in higher plants // *Environ. Exp. Bot.* – 1999. – V. 41. – P. 105-130.
187. Siedlecka A. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients / A. Siedlecka // *Acta Soc. Bot. Pol.* – 1995. – V. 64. – N 3. – P. 262-272.

188. Wagner G. J. Accumulation of cadmium in crop plants and consequences to human health / G. J. Wagner // *Adv. Agron.* – 1993. – V. 51. – P. 173-212.

189. Welch R. M. Effects of nutrient solution zinc activity on net uptake, translocation and roots export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) seedling roots / R. M. Welch, J. J. Hart, W. A. Norvell, L. A. Sullivan, L. V. Kochian // *Plant Soil.* – 1999. – V. 208. – P. 243-250.

190. Wierzbicka M. Lead accumulation and its translocation in roots of *Allium cepa* L. – autoradiographic and ultrastructural studies / M. Wierzbicka // *Plant Cell Environ.* – 1987. – V. 10. – P. 17-26.

191. Yang X. E. Influx, transport and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd<sup>2+</sup> activities / X. E. Yang, V. C. Baligar, D. C. Martens, R. B. Clark // *J. Environ. Sci. Health.* – 1995. – V. 30. – P. 569-583.

Приложение А – Подтверждение внедрения научных разработок  
Приложение А1 – Внедрение в ООО «Скорпион» Безенчукского района,  
Самарской области

**Справка о внедрении  
результатов научно-исследовательской работы**

в производство ООО «Скорпион» Безенчукского района Самарской области и использовании материалов научных исследований по изучению элементов технологии производства лука репчатого, выполненных аспирантом ФГБОУ ВО Самарский ГАУ Соловьевым Анатолием Александровичем, под руководством д.с.-х. наук, профессора Троц Н. М.

ООО «Скорпион» Безенчукского района Самарской области подтверждает, что результаты исследований по изучению элементов технологии производства лука репчатого, разработанные Соловьевым А. А., были внедрены в производстве хозяйства в 2022,2023, 2024 гг., на общей площади 20 га.

Проведено агрохимическое обследование территории хозяйства на площади 720 га. Выявлены почвы, требующие проведения мелиоративных мероприятий, в частности установлено, что около 100 га пашни имеет значение рН в пределах 7,9-8,3. Для данной площади рассчитаны нормы внесения химического мелиоранта, определены способы заделки его в почву, выявлены наиболее оптимальные нормы внесения Фосфогипса как при естественном уровне плодородия, так и на удобренном фоне. Внесение мелиоранта в дозе 6,0 - 8,0 т/га обеспечивало существенную прибавку урожая по сравнению контрольным вариантом, при сравнительно небольших производственных затратах. В результате существенно возрос условно чистый доход, а средняя рентабельность предлагаемой технологии находилась в пределах 99,2 – 120,0 % в зависимости от варианта внедрения.

При этом в отличии от контрольного варианта, действие фосфогипса пролонгировалось, как минимум на два последующих года, и будет обеспечивать прибавку урожая последующих культур севооборота.

Директор  
ООО «Скорпион»  
Безенчукского района  
Самарской области



Калмыков С. Т.

01 февраля 2024 года

Приложение А 2 – Внедрение в ООО «Весна» Безенчукского района,  
Самарской области

**Справка о внедрении  
результатов научно-исследовательской работы**

в производство ООО «Весна» Безенчукского района Самарской области и использовании материалов научных исследований по изучению элементов технологии производства лука репчатого, выполненных аспирантом ФГБОУ ВО Самарский ГАУ Соловьевым Анатолием Александровичем, под руководством д.с.-х. наук, профессора Троиц Н. М.

ООО «Весна» Безенчукского района Самарской области подтверждает, что результаты исследований по изучению внесения фосфогипса под посевы лука репчатого, разработанные Соловьевым А. А., были внедрены в производстве хозяйства в 2022, 2023, 2024 гг., на общей площади 100 га.

Внедрение элементов агротехники, таких как, внесение фосфогипса в дозе 6-8 т на га под посевы лука репчатого, позволило обеспечить оптимальный рост и развитие растений, сформировать более высокую продуктивность.

Предложенные элементы технологии лука репчатого обеспечивали урожайность 57, 5 т/га, что на 0,26-0,33 т/га выше, чем средние показатели по предприятию.

Производственные испытания доказывают высокую агрономическую и экономическую эффективность предложенных элементов агротехнологии.

Директор  
ООО «Весна»  
Безенчукского района  
Самарской области



Сараев Евгений Викторович

15 сентября 2023 года

## Приложение А 3 – Внедрение в ИП Глава КФХ Цирулев Е. П. Приволжского района, Самарской области

### Справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы

в производство ИП Глава КФХ Цирулев Е. П. Приволжского района Самарской области и использовании материалов научных исследований по изучению элементов технологии производства лука репчатого, выполненных аспирантом ФГБОУ ВО Самарский ГАУ **Соловьевым Анатолием Александровичем**, под руководством д.с.-х. наук, профессора Троиц Н. М.

Результаты исследований и рекомендации, содержащиеся в диссертации Соловьева А. А., прошли производственную проверку в 2021-2023 годах на полях ИП КФХ Глава Цирулев Е. П. Приволжского района Самарской области на общей площади 70 га.

В процессе работы было установлено положительное влияние фосфогипса в качестве мелиоранта и удобрения под репчатый лук. От внедрения результатов и рекомендаций получен высокий урожай и экономический эффект.

Выявлено, что действие фосфогипса на развития растений, происходит как через оптимизацию почвенной среды обитания корневых систем, так и в виде дополнительного источника фосфора и микроэлементов, что способствует повышению длительности фотосинтетических процессов и синтеза органического вещества. Растения на вариантах с внесением фосфогипса отличались более густой массой и перо было длиннее контрольного варианта в среднем на 3 см. У луковец, выращенных на опытных делянках наблюдалось сокращение длины шейки, что благоприятно для устойчивости к болезням и вредителям и обеспечивает долгосрочное хранение. Значения рН уменьшалось в пахотном горизонте в среднем с 6,0 единиц – на контроле до 7,2. С увеличением нормы внесения фосфогипса до 4,0 т/га данный показатель уменьшался уже до 7,2 единиц. При 4,5 т/га среднее значение рН уменьшалось до 7,0 единиц - оно приблизилось к показателю нейтральной среды почвенного раствора, а в верхнем слое почвы. Внесение фосфогипса практически вело к нейтрализации вредного действия солей в верхних слоях почвы (0-20 см). Учитывая высокий уровень щелочности поливной воды (рН выше 8,0) внесение ФГ способствовало ее некоторой нейтрализации, и балансировало рН почвенного раствора, не оставляя слабощелочную среду.

Получены данные по закономерностям распределения тяжелых металлов в почве. Представлена ассоциация накапливающихся и рассеивающихся элементов в отношении их регионального содержания в почвах: свинец-кадмий-никель-медь-марганец-цинк-железо.

Внесение в почву фосфогипса на фоне применения Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га - N и 52 кг/га - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> действующего вещества, достоверно обеспечивает прибавку урожая лука сортов Манас и Визион в пределах 14,0 - 19,5%, или 26,9 - 33,9 т.

Внедрение данных элементов агротехнологии обеспечило прибавку урожая лука на 7,7 т/га больше по сравнению с общепринятой в хозяйстве технологии, при высоком уровне рентабельности до 63,3 %.

При внедрении своей разработки автор принимал непосредственное участие.

Глава ИП Глава КФХ Цирулев Е.  
Приволжского района  
Самарской области



Цирулев Е. П.

01 октября 2023 года

Приложение В – Таблица величин показателей физических и водно-физических свойств почв

| Почва   | Группировка<br>величины показателя | Показатель физических и водно-физических свойств |                        |                    |                                  |  |                           |                                |                                    |
|---|------------------------------------|--|------------------------|--------------------|----------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|   |                                    | Мощность пахотного слоя                          | Агрегаты 10-0,25 мм, % | Агрегаты >10 мм, % | Водопрочные агрегаты >0,25 мм, % | Равновесная плотность, г/см <sup>3</sup> | Водопроницаемость, мм/мин |                                | Полевая наименьшая влагоемкость, % |
|   |                                    |  |                        |                    |                                  |  | За 1-й час                | Устойчивая скорость фильтрации |                                    |
| Чернозем обыкновенный суглинистый и тяжелосуглинистый | оптимальная                        | 27-32  | 70-85                  | 20-30              | 60-70                            | 1,1-1,25                                 | 1,5-2,0                   | 1,0-1,5                        | 33-35                              |
|   | слабое снижение от оптимума        | 22-27  | 60-70                  | 15-20              | 50-60                            | 1,1-1,0                                  | 1,5-1,0                   | 1,0-0,7                        | 33-30                              |
|   | сильное снижение от оптимума       | <22  | <60                    | <15                | <50                              | <1,0                                     | <1,0                      | <0,7                           | <30                                |
|   | слабое превышение от оптимума      | 32-34  | 85-90                  | 30-35              | 70-75                            | 1,25-1,35                                | 2,0-2,5                   | 1,5-2,0                        | 35-38                              |
|   | сильное превышение от оптимума     | >34  | >90                    | >35                | >75                              | >1,35                                    | >2,5                      | >2,0                           | >38                                |

Приложение С – Проведение полевых и лабораторных исследований



*Рисунок 1 - Внесение Фосфогипса на опытном поле*



*Рисунок 2 - Осмотр опытных посевов*



*Рисунок 3 - Отбор почвенных образцов*



*Рисунок 4 - Уборка опытных вариантов овощным комбайном Grimme*



Рисунок 5 - Урожай лука с опытных вариантов

Приложение Д – Участие в научных проектах



# ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

## ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ  
ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

**ФГБОУ ВО Самарский ГАУ,  
г. Кинель, Самарская область**

*За разработку технологии применения фосфогипса на посевах лука и картофеля  
в условиях орошения южной агроклиматической зоны Самарской области*

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ