

**Соловьев Анатолий Александрович**

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

4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
**Троц Наталья Михайловна**

Официальные оппоненты: **Прохорова Наталья Владимировна**, доктор биологических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», профессор кафедры экологии, ботаники и охраны природы

**Магомедова Диана Султановна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова», декан факультета агроэкологии, профессор кафедры земледелия, почвоведения и мелиорации.

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО), Московская обл., пос. ВНИИССОК

Защита состоится «26» ноября 2024 года в 15-00 часов на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2; тел./факс 8 (846-63) 46-1-31.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», на сайте университета <http://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Троц Наталья Михайловна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В сложившихся экономических условиях одной из главных 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. В этой связи исследование возможности применения в сельском хозяйстве побочного продукта производства экстракционной фосфорной кислоты – фосфогипса нейтрализованного (ФГ), 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 ультрамикроэлементы, и внедрению в производство результатов опытов будет способствовать повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

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, а также после подъема содовых грунтовых вод в условиях Самарской области практически не проводились. Результатом этого является отсутствие рекомендаций по его применению под различные сельскохозяйственные культуры. Исходя из этого, возникла потребность в установлении влияния различных норм внесения фосфогипса на агроэкологические параметры почвы и продуктивность культур, в частности лука репчатого. Все исследования по данной проблеме являются актуальными и имеют большую практическую значимость.

**Степень разработанности темы.** Изучением вопросов химической мелиорации почв в почвенно-климатических условиях Поволжья, его последствий, отзывчивости сельскохозяйственных культур на данный агроприем, а также определением 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., что и сформировало цель и задачи проведения соответствующих исследований.

**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 луковичами 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 посевы репчатого лука, на фоне 100 кг/га Аммофоса и 200 кг/га Диаммофоски.
8. Обобщить данные полевого опыта, сделать соответствующие выводы и предложения.

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

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 при сочетании его с минеральными удобрениями в нейтрализации кислотности почвенной среды, улучшении питательного режима чернозема обыкновенного остаточно-лугового малогумусного среднемощного среднесуглинистого, в повышении урожайности лука репчатого, улучшении качества и в получении экологически безопасной

продукции. Проведена экономическая оценка эффективности фосфогипса при возделывании лука репчатого.

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

В результате расчетов установлено, что применение фосфогипса в качестве кальцийсодержащего мелиоранта на орошаемых черноземных почвах Самарского Заволжья экономически оправдано. При этом наибольшая рентабельность и получение чистого дохода обеспечивается при внесении на фоне применения полного минерального удобрения в норме  $N_{100}P_{100}K_{150}$ .

**Методология и методы исследования** формировались из анализа научных трудов и практического опыта отечественных и зарубежных авторов, цели, задач, программы исследований, осуществления полевых изысканий с применением статистических и корреляционных методов, эмпирического оформления результатов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

– положительное влияние сочетания фосфогипса с минеральными удобрениями на динамику агрохимических показателей и агрофизические свойства черноземов обыкновенных остаточно-луговатых и обыкновенных остаточно-луговатых карбонатных с вкраплениями мелких контуров лугово-черноземных почв под посевами лука репчатого;

– отзывчивость лука репчатого при внесении сочетания фосфогипса с минеральными удобрениями в почву;

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

**Степень достоверности результатов** подтверждается большим объемом экспериментальных данных, которые определены на основе проверенных официальных методик и методов с применением статистической и корреляционной обработок, внедрением результатов в производственные условия.

**Апробация результатов работы.** Научные результаты работы по основным положениям диссертационной работы были апробированы на заседаниях кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО Самарский ГАУ и на научно-практических мероприятиях различного уровня: 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, посвящённый XXX-летию Татарского института переподготовки кадров агробизнеса «Цифровые технологии 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).

Производственное апробирование результатов полевых опытов осуществлено на следующих объектах: ООО «Весна» на площади 100 га, ООО «Скорпион» Безенчукского района, на площади 20 га и ИП Глава КФХ Цирулев Е. П. Приволжского района, на площади 70 га.

**Публикации результатов исследований** по диссертационной работе отражены в 12 научных работах, 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.

**Личный вклад автора** заключался в самостоятельном планировании экспериментов, подборе методик и методов исследований, выполнении лабораторных и полевых опытов, а также обобщении результатов, полученных данных, их статистической и корреляционной обработке, формулировке предложений производству.

Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность научному руководителю д.с.-х.н., профессору Троц Н. М. за руководство, ценные советы и неоценимую помощь в организации исследований и анализе полученных данных. Автор также благодарит за содействие в организации экспериментов и проведении анализов главу ИП Глава КФХ Цирулев Е. П. Евгения Павловича Цирулева, сотрудников кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1 Обзор литературных источников**

В литературном обзоре по теме диссертации изложен анализ видов мелиоративных мероприятий в мире и России. Особое внимание уделено особенностям накопления тяжелых металлов в почве и овощных культурах, использованию

удобрений и мелиорантов в агроценозах овощных культур, роли элементов технологии выращивания лука репчатого в повышении урожайности и качестве продукции. Представлены некоторые аспекты применения минеральных удобрений в технологии производства лука репчатого и особенности использования черноземной почвы в современных условиях. Анализ отечественных и иностранных литературных источников свидетельствует о необходимости совершенствования агротехнических мероприятий с целью повышения урожайности и качества продукции в условиях орошения и интенсивного использования пашни в южной агроэкологической зоне Самарской области.

## 2 Условия и методика проведения исследований

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 - 2023 гг. на площади 438 га, в границах которого было исследовано 12 опытных участков площадью 0,20 га в указанный период.

Чередование культур в севообороте было следующим: 1. Чистый (черный) пар. 2. Картофель. 3. Лук репчатый. 4. Соя. 5. Соя. Учетные площадки формировались с учетом технологии посева лука, имели форму прямоугольника со стороной 6 м или 4 гряды по 8 строчек, длиной 100 м, площадью 600 м<sup>2</sup> (6 x 100). 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.

Ввиду того, что севооборот действует на орошаемом участке поливной системы «Фрегат», каждый опытный участок был привязан к максимальной площади полива при работе на одной позиции дождевальной машины и имел площадь 82,6 га. Количество полей севооборота совпадало с количеством лет ротации, т. е. 5 лет.

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) -3,5...-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.

Объектом исследований стали черноземы обыкновенные остаточнo-луговатые и остаточнo-луговатые карбонатные с вкраплениями мелких контуров лугово-черноземных почв и растения лука репчатого районированных сортов Манас и Визион. Предмет исследований - агрохимические и агроэкологические показатели состояния почв и выращиваемых на них в специальном севообороте в условиях орошения растений лука репчатого. Материал исследования – данные локального мониторинга (2003-2023 гг.) и полевых опытов (2021-2023 гг.) на по-

лях крестьянско-фермерского хозяйства ИП Глава КФХ Цирулев Е.П. Приволжского района Самарской области.

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

- фенологические наблюдения – визуально оценивались наступление фаз развития лука репчатого по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур;
- отбор и подготовка проб почвы для химического анализа - проводили буром Малькова в пахотном слое каждого варианта I и III повторности в пяти точках по двум диагоналям делянок (ГОСТ Р 58595-2019);
- содержание гумуса осуществляли по методу И. В.Тюрина в модификации ЦИНАО в соответствии с ГОСТ 26213-91;
- рН солевой суспензии в модификации ЦИНАО выявляли в соответствии ГОСТ 26423-85;
- содержание подвижного фосфора и обменного калия в нейтральных почвах определяли по Ф.В. Чирикову (ГОСТ 26204-91), в карбонатных почвах по Б. П. Мачигину (ГОСТ 26205-91);
- содержание легкогидролизуемого азота в кислотной (0,5 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) вытяжке обнаруживали по Ю. В. Тюрину и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудярова.
- содержание тяжелых металлов оценивали методом атомно-абсорбционной спектроскопии;
- учет фактического урожая экспериментальных культур проводили с учетной площади делянки с последующим пересчетом на 100 % чистоту;
- 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.), в 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 в научно-исследовательской испытательной лаборатории ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ». Экономическую оценку технологии возделывания лука репчатого проводили по системе натуральных и стоимостных нормативов и цен, принятых для производственных условий ФГБОУ ВО Самарский ГАУ в 2021 г.

### **3 Агрохимические свойства почвы при возделывании лука репчатого по интенсивной технологии**

По состоянию почвенного плодородия за период 2003-2023 гг. выявлено незначительное падение содержания гумуса в границах изученного севооборота от 0,2 % до 1,0 %. Почвенный покров характеризуется содержанием гумуса с ко-

лебанием от слабогумусированных (3,1 %) до малогумусных (4,0-5,0 %); подвижного фосфора от очень низкого (7,0 мг/кг) до повышенного (140 мг/кг); калия от среднего (57 мг/кг) до очень высокого (186 мг/кг).

По мощности гумусового горизонта почвы отнесены к среднемошным с пределом варьирования от 51 см до 75 см и мощным - 82 см. По механическому составу все почвы представлены среднесуглинистыми разновидностями, преобладающими фракциями являются крупная пыль и мелкий песок.

Поливная вода по величине жесткости с показателем 5,9 мг-экв./л и рН 8,3 относится к среднежестким и обладает щелочной реакцией среды. Обменная кислотность находится интервале рН 6,4-7,9. В зависимости от доз фосфогипса значение обменной кислотности остается в одной градации нейтральной, в другой при внесении 10 т/га фосфогипса – сдвигается в сторону слабощелочной среды.

На основе полученных данных о средней урожайности испытываемых сортов лука за период 2021-2023 гг. балансовым методом произведен расчет потребности в минеральных удобрениях для сорта Манас 61,7 т/га и для сорта Визион 59,1 т/га (табл. 1).

Таблица 1 – Баланс питательных веществ в севообороте при выращивании сортов лука репчатого, кг/га

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

Для получения лука репчатого сорта Манас при средней урожайности за три года 2021-2023 гг. 61,7 т/га на 1 га потребуется внести 315 кг азота, 240 кг фосфора и 195 кг калия. 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.

Поглощающая способность почв по величине ЕКО на контрольном участке и при внесении 2 и 4 т/га ФГ – средняя; 6, 8, 10 т/га ФГ – высокая. Содержание суммы кальция и магния от ЕКО во всех вариантах исследования ниже оптимума с колебанием от 25 % на участке фон + ФГ 10 т/га до 64 % на контрольном участке, выше оптимума только на участке опыта + ФГ 4 т/га. По содержа-

нию кальция и магния почвы относятся к 4 группе (повышенное). По содержанию кальция на опытных участках фон + ФГ 4 т/га 17,27 ммоль/100 г, фон + ФГ 6 т/га 18,25 ммоль/100 г – высокое, фон + ФГ 8 т/га 20,5 ммоль/100 г – очень высокое, по содержанию магния на участке фон + ФГ 8 т/га 1,17 – среднее. Соотношение  $Ca^{2+}: Mg^{2+}=5:1$  отмечено на контрольном участке и при внесении 10 т/га ФГ на остальных вариантах 1:8, что свидетельствует о присутствии в почвенной среде карбонатов и бикарбонатов магния и повышении щелочности.

Внесение ФГ полностью обеспечивает растения лука обменной серой. Оптимальное соотношение азота к сере от 6:1 до 8:1 отмечено при внесении 4-10 т/га ФГ.

Результаты анализа водной вытяжки почв показали, что плотный остаток невысокий: на контрольном варианте и 2 т/га ФГ не превышает 0,1 %. С увеличением дозы внесения ФГ величина плотного остатка возрастает, и почва характеризуется как слабозасоленная при внесении 4 и 6 т/га (0,12-0,17 %), с дозой 8 и 10 т/га ФГ (0,20-0,24 %) определяется как средnezасоленная. По химизму засоления почвы относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления, содержание иона  $CO_3^{2-}$  во всех вариантах более 0,03 ммоль/100 г является критерием при включении в название «с участием соды».

При внесении фосфогипса при норме 4 т/га и 6 т/га происходит улучшение структурного состояния почвы, увеличивается процент содержания от массы воздушно - сухой почвы агрегатов 0,25-10 мм. За счет действия ФГ происходит оструктурирование (склеивание) почвы, повышается водопроницаемость, обмена газов между атмосферой и корнями растений, возрастает способность противостоять размывающему действию воды.

#### **4 Эффективность действия фосфогипса на аккумуляцию тяжелых металлов почвой и луковичами лука репчатого**

Валовое содержание и значения подвижных форм ТМ в почве находятся ниже установленных норм ПДК и фоновых значений.

Валовое содержание кадмия ниже ПДК в 2,9-5,5 раз. При внесении минеральных удобрений концентрация Cd относительно контроля возрастает в 1,8-1,9 раза. Фосфогипс во всех применяемых нормах уменьшает концентрацию Cd, она остается на уровне или ниже контроля на 2,7 %.

Значения Кк Cd варьировали в пределах 2,77-5,23. Для Pb, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni. Посчитан коэффициент рассеяния Кр, так как значения валового содержания этих металлов ниже их кларков в земной коре. Значения Кр у Pb были низкими и варьировали от 1,26 до 1,74. Далее по увеличению Кр расположился Ni, величина Кр составляла от 3,41 до 5,27. Значения Кр Cu, Mn и Zn оказались близким и равнялись: для Cu - 4,23-5,88, Zn - 4,88-7,41, Mn - 4,55-5,52. Самым рассеиваемым элементом оказалось Fe, Кр = 11,02-15,50.

На вариантах опытов с внесением 2, 8 и 10 т/га ФГ на стадии образования 5 листа и 4-8 т/га ФГ в фазу начала активного роста луковичы Cu становится более рассеиваемым элементом, и последовательность элементов по убыванию их концентрации представлена следующим рядом: Cd - Pb - Ni - Mn - Zn -

Cu - Fe. На остальных вариантах опыта во все фазы развития лука последовательность элементов была следующей: Cd - Pb - Ni - Mn - Cu - Zn - Fe. На основании полученных данных составлен геохимический индекс:

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

С начала созревания и до технической спелости лука на контрольном варианте опыта и при внесении от 2 до 8 т/га ФГ концентрация Ni снижается, Кс равен 0,5, элемент переходит в ассоциацию рассеивающихся элементов, и геохимический индекс выглядит следующим образом:

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

При внесении минеральных удобрений концентрация Cd становится выше, чем у Pb, а Кс для Ni во все фазы развития > 0,5:

Рассчитано, что значения Pb и Cd близки к фоновому содержанию этих элементов, а Ni, Cu, Mn, Zn, Fe составляют ассоциацию рассеивающихся элементов. По значениям коэффициента Кс представлен 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: Cd - в 43-83 раза, Pb - в 17-27 раз, Cu - в 10-30 раз, Zn - в 24-46 раз, Mn - в 3-12 раз, Ni - в 9-13 раз ниже ПДК.

Под участками лука репчатого сорта Визион валовое содержание всех изучаемых металлов в почве находилось в 2,5-6 раз ниже ПДК.

Кр Pb составил 1,26-1,67, минимальные значения были характерны для контрольного варианта, содержание элемента в почве близко к его содержанию в земной коре. Элементы Ni, Cu, Mn и Zn рассеиваются в большей степени, их количество в среднем в 4-6 раз ниже значения кларка в земной коре. Для других элементов Кр составил: Ni 3,41- 4,83, Cu - 4,16-5,80, Mn - 4,44-5,56, Zn - 4,80-6,38. Самым рассеивающимся элементом оказалось железо, его коэффициент рассеяния составил от 11,29-15,50.

Расчет Кк и Кр 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) такова: Pb – Ni – Cu – Mn – Zn – Fe. При внесении ФГ концентрация Mn и Cu меняется, что ведет к изменению коэффициентов рассеяния. В итоге ряд данного действия приобретает вид: Pb – Ni – Mn – Cu – Zn – Fe за исключением фазы начала активного роста лукавицы, где ряд идентичен контрольному и фоновому вариантам. Из приведенных рядов следует, что в почве опытного участка идет накопление Cd и рассеяние Mn, Zn, Pb, Cu, Ni и Fe. Причем Pb среди них рассеивается в наименьшей степени, далее идет Ni. Cu и Mn имеют близкие значения Кр, поэтому в не-

которых вариантах опыта происходит их относительное перемещение в геохимической ассоциации. Сильнее рассеивается Zn, а Fe – самый рассеивающийся 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. Для контроля можно записать: накапливающийся элемент  $Cd_{2,77}$ , рассеивающиеся –  $Pb_{1,27}Mn_{4,50} Ni_{4,83} Cu_{5,16} Zn_{6,38} Fe_{14,53}$ . На варианте ФОН  $N_{100}P_{100}K_{150}$ : накапливающийся элемент  $Cd_{4,92}$ , рассеивающиеся –  $Pb_{1,43} Ni_{3,87}Mn_{4,65} Zn_{4,88} Cu_{5,05} Fe_{11,34}$ . Кс всех изучаемых элементов не превышают 1 за исключением Cd на фоновом варианте в фазу активного роста луковицы, где  $Kc=1,03$ . Для свинца Кс составил от 0,72 до 0,95. Далее по убыванию относительной концентрации Кс расположились: Cd (0,50-1,03), Ni (0,43-0,60), Cu (0,28-0,43), Mn (0,26-0,32), Zn (0,17-0,23) и Fe (0,09-0,12). Для большинства вариантов опыта, независимо от фазы развития лука, по рассчитанным коэффициентам концентрации ТМ представляется геохимический индекс:

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

из которого следует, что Pb, Cd и Ni являются элементами с концентрациями близкими к фоновому значению, а Cu, Mn, Zn и Fe – рассеивающимися, при этом накапливающихся элементов в исследуемых почвах не выявлено.

Вариант с внесением в почву минеральных удобрений в дозе  $N_{100}P_{100}K_{150}$  отличается последовательностью Pb и Cd, и перед уборкой урожая, в фазу технической спелости луковиц, индекс выглядит следующим образом:

$$Cd_{0,91}Pb_{0,84}Ni_{0,53} = \frac{1}{Cu_{0,35} Mn_{0,31} Zn_{0,23} Fe_{0,12}}$$

Прослеживаются общие закономерности распределения металлов в почве относительно кларка в земной коре и по сравнению с фоновым содержанием черноземных почв Самарской области: накапливающийся элемент – Cd, рассеивающиеся - Pb, Cd, Ni, Cu, Mn, Zn, Fe. Ассоциация накапливающихся и рассеивающихся элементов в отношении кларка и регионального содержания в почвах под луком репчатым сорта Манас представлена убывающим рядом: Pb-Cd-Ni-Cu-Mn-Zn-Fe.

По средним значениям полученных коэффициентов концентрации (Кс) рассчитан следующий геохимический индекс:

$$Ni_{0,69} Fe_{0,63} = \frac{1}{Pb_{0,10} Cu_{0,06} Cd_{0,05} Mn_{0,04} Zn_{0,03}}$$

Для железа Кс 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 Кс расположились: Pb - 0,07 - 0,18, Cd - 0,04-0,07, Cu - 0,04-0,08, Mn - 0,01-0,06, Zn - 0,02-0,04.

Период начала 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): близкими к фоновым значениям являются Ni, Fe, рассеивающиеся элементы - Pb, Cu, Cd, Zn, Mn. Для вариантов с внесением удобрений и ФГ ассоциация рассеивающихся элементов меняется: Pb, Cu, Cd, Mn, Zn.

С наступлением технической спелости лука Кс Fe 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:

$$Ni_{0.63} = \frac{1}{Fe_{0.46}Pb_{0.10}Cu_{0.06}Cd_{0.05}Mn_{0.04}Zn_{0.03}}$$

Содержание кадмия в луковицах обоих сортов превышает в 2-3 раза фоновые значения, представляющие собой усреднённые данные о содержании контролируемых элементов в почвенном покрове рассматриваемого региона. Концентрация Pb 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, значительно ниже фонового Zn - в 2-3,8 раз, Cu - в 26-68 раз, Mn - в 9,7-35 раз, Fe - в 4,7-8,1 раз. Количество Pb в луковицах сорта Манас превышает критическую концентрацию в 1,06-1,66, а сорта Визион – в 1,22-1,72 раза. Содержание Cd было в 1,1-1,7 раз меньше критической концентрации, Zn – 5-9 раз, Cu - в 10,6-28 раз, Mn - в 104-376 раз, Fe – в 10,4-18 раз и Ni - в 3-5,4 раз.

Для оценки потенциальной подвижности элементов и тесноты биогеохимической связи состава живого организма с биосферой были рассчитаны коэффициент биологического поглощения (КПБ) и показатель биотичности элементов (ПБЭ) (табл. 2). У изученных металлов во всех вариантах опыта с луком репчатым сорта Манас КПБ не превышал показатель 1. Наиболее высокое значение было у Zn, при этом внесение удобрений и ФГ усиливало способность поглощения металла из почвы растениями в 1,2-1,5 раза.

КПБ для лука сорта Визион во всех вариантах опыта наблюдался только у Zn и варьировал от 0,556 до 0,761. Внесение удобрений и ФГ усиливало способность поглощения металла из почвы растениями, и КПБ становился на 0,042-0,205 больше, чем на контроле. Остальные элементы имели КПБ ниже 0,3: для Cd КПБ = 0,144-0,211; для Pb - от 0,049 на контроле до 0,087 га варианте ФОН + ФГ 4 т/га; для Cu – от 0,069 до 0,112; для Mn значения равнялись 0,09-0,025; для Fe – 0,015-0,018; для Ni – 0,058-0,071. При этом внесение фонового удобрения увеличивало поглощение Pb, Zn, Mn и Ni, и снижало поглощение Cd и Cu. При внесении ФГ повышалось поглощение Cd, Pb и Zn, а поглощение Cu (за исключением варианта ФОН + ФГ 2 т/га), Mn, Fe и Ni снижалось. Cd, Pb, Cu, Mn, Fe и Ni относятся к группе металлов, которые слабо поглощаются луковицами из почвы.

Значения ПБЭ у лука репчатого сортов Манас и Визион, превышающие 0,3, выявлены у Cd, следовательно, этот элемент играет существенную роль в биологическом круговороте веществ экосистемы. Наибольшие значения получены на варианте опыта ФОН, которые в 1,5 раза превышали контрольный индекс. У лука репчатого изученных сортов Манас и Визион по убыванию ПБЭ расположились

в таком порядке: Zn-Pb-Cu-Ni-Mn-Fe. 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.

Таблица 2 – Коэффициенты биологического поглощения (КБП) и показатель биотичности (ПБЭ) тяжелых металлов луковичами лука репчатого при различных уровнях внесения фосфогипса\*

№ п.п.	Вариант	Элемент						
		Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni
<i>Сорт Манас</i>								
1	Контроль	<u>0,164</u>	<u>0,066</u>	<u>0,432</u>	<u>0,047</u>	<u>0,016</u>	<u>0,013</u>	<u>0,047</u>
		0,454	0,052	0,068	0,009	0,0035	0,0009	0,0097
2	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub>	<u>0,141</u>	<u>0,047</u>	<u>0,574</u>	<u>0,069</u>	<u>0,020</u>	<u>0,017</u>	<u>0,065</u>
		0,692	0,033	0,117	0,014	0,0042	0,0015	0,0169
3	+ ФГ 2 т/га	<u>0,169</u>	<u>0,080</u>	<u>0,588</u>	<u>0,050</u>	<u>0,007</u>	<u>0,013</u>	<u>0,047</u>
		0,454	0,053	0,099	0,009	0,0015	0,0009	0,01052
4	+ ФГ 4 т/га	<u>0,186</u>	<u>0,076</u>	<u>0,516</u>	<u>0,068</u>	<u>0,006</u>	<u>0,011</u>	<u>0,061</u>
		0,500	0,049	0,087	0,012	0,0014	0,0009	0,01362
5	+ ФГ 6 т/га	<u>0,189</u>	<u>0,071</u>	<u>0,658</u>	<u>0,058</u>	<u>0,006</u>	<u>0,013</u>	<u>0,044</u>
		0,508	0,045	0,111	0,011	0,0013	0,0009	0,01138
6	+ ФГ 8 т/га	<u>0,189</u>	<u>0,069</u>	<u>0,657</u>	<u>0,059</u>	<u>0,009</u>	<u>0,014</u>	<u>0,063</u>
		0,508	0,044	0,111	0,010	0,0016	0,0009	0,01293
7	+ ФГ 10 т/га	<u>0,189</u>	<u>0,068</u>	<u>0,542</u>	<u>0,048</u>	<u>0,007</u>	<u>0,012</u>	<u>0,050</u>
		0,508	0,044	0,111	0,008	0,0016	0,0010	0,01293
<i>Сорт Визион</i>								
1	Контроль	<u>0,178</u>	<u>0,049</u>	<u>0,556</u>	<u>0,095</u>	<u>0,018</u>	<u>0,018</u>	<u>0,065</u>
		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>	<u>0,144</u>	<u>0,071</u>	<u>0,742</u>	<u>0,077</u>	<u>0,025</u>	<u>0,018</u>	<u>0,071</u>
		0,708	0,050	0,120	0,015	0,0048	0,0016	0,0171
3	+ ФГ 2 т/га	<u>0,178</u>	<u>0,063</u>	<u>0,673</u>	<u>0,112</u>	<u>0,010</u>	<u>0,017</u>	<u>0,063</u>
		0,492	0,040	0,105	0,020	0,0018	0,0012	0,0126
4	+ ФГ 4 т/га	<u>0,203</u>	<u>0,087</u>	<u>0,598</u>	<u>0,082</u>	<u>0,009</u>	<u>0,017</u>	<u>0,061</u>
		0,562	0,057	0,094	0,014	0,0017	0,0012	0,0126
5	+ ФГ 6 т/га	<u>0,206</u>	<u>0,083</u>	<u>0,761</u>	<u>0,073</u>	<u>0,009</u>	<u>0,017</u>	<u>0,058</u>
		0,569	0,054	0,119	0,013	0,0016	0,0011	0,0119
6	+ ФГ 8 т/га	<u>0,211</u>	<u>0,074</u>	<u>0,748</u>	<u>0,069</u>	<u>0,009</u>	<u>0,017</u>	<u>0,068</u>
		0,585	0,051	0,119	0,012	0,0017	0,0011	0,0141
7	+ ФГ 10 т/га	<u>0,211</u>	<u>0,078</u>	<u>0,708</u>	<u>0,059</u>	<u>0,009</u>	<u>0,015</u>	<u>0,059</u>
		0,585	0,049	0,119	0,010	0,0017	0,0012	0,0141

Примечание. \* В числителе – коэффициент биологического поглощения (КБП), в знаменателе - показатель биотичности элементов (ПБЭ)

Для характеристики распределения элементов между живым веществом и окружающей средой были вычислены коэффициенты накопления  $K_n$ , 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. Наиболее близким к показателю 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 во всех вариантах опыта. Следовательно, можно утверждать, что загрязнение растений металлами происходит преимущественно из почвы.

Таким образом, согласно рядам биологического поглощения, наиболее высокий коэффициент биологического поглощения у Zn  $K_{ПБ_{Zn}} > 0,3$ , но  $ПБЭ_{Zn} < 0,3$ , следовательно, элемент не играет значительной роли в общем круговороте веществ в исследуемой экосистеме почва-растение. Активно вовлекаются в общий круговорот элементов только Cd ( $ПБЭ_{Cd} = 0,454-0,692$ ) у лука сорта Манас и у лука сорта Визион ( $ПБЭ_{Cd} = 0,492-0,708$ ). Cd 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. Исходя из рассчитанных значений коэффициентов накопления, можно сделать вывод о том, что Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Fe, Ni поглощаются и накапливаются в растениях преимущественно из почвы. У сорта Визион повышение КБП для Cd отмечено в вариантах с внесением от 4 до 10 т/га на 0,026-0,033, Pb и Zn на всех нормах внесения ФГ на 0,014-0,038 и 0,042-0,205 соответственно. Увеличение КБП по отношению к контролю выявлено для Cu при внесении 2 и 4 т/га ФГ на 0,013-0,017 и Ni на 0,003 только при внесении 8 т/га.

ПБЭ увеличивается при внесении доз ФГ у Cd на 0,070-0,093, кроме нормы 2 т/га, где значения равны контролю, Pb - на 0,002-0,019, Zn - на 0,019-0,044, Ni - на 0,0005-0,0017, кроме варианта ФОН + 6 т/га, где выявлено снижение ПБЭ на 0,0005. ПБЭ Cu снижается при внесении 4-10 т/га ФГ на 0,006-0,010, Mn на 0,0020-0,0022.

## **5 Оценка экономической эффективности использования фосфогипса для получения экологически безопасной продукции лука репчатого**

При внесении ФГ урожайность лука репчатого сорта Визион составила 164,3-172,7% от контроля (табл. 3).

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 снижению урожайности на 0,1-1,0 т/га, отклонение от контроля составило 170,0 - 172,4 %. Внесение в почву фонового удобрения в норме  $N_{100}P_{100}K_{150}$  совместно с фосфогипсом обеспечивало большую

прибавку урожая лука сорта Визион, чем при использовании только минерального удобрения.

Таблица 3 – 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 <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub>	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	62,3	64,7	66,7	64,5	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	62,7	25,9	170,0
<i>НСР<sub>05</sub></i>	<i>1,09</i>	<i>1,12</i>	<i>0,90</i>			

Внесение в почву фосфогипса на фоне применения минерального удобрения в норме N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> достоверно обеспечивало 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 (табл. 4).

Наибольшую прибавку урожая относительно контроля обеспечивал 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 отклонения от контроля и фона соответственно равны 189,8% и 152,8%.

Таблица 4 – 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 <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>150</sub>	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	67,8	31,5	186,8
<i>НСР<sub>05</sub></i>	<i>1,28</i>	<i>1,39</i>	<i>1,06</i>			

Экономическими расчетами установлено, что стоимость полученного урожая в денежном выражении в среднем за трехлетний период по вариантам опыта составила от 518,32 тыс. руб./га до 869,88 тыс. руб./га (табл. 5).

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 %. Применение фонового удобрения и внесение фосфогипса позволили полностью окупить все производственные затраты стоимостью реализованной продукции. Уровень рентабельности в опытах варьировал в пределах 40,73-54,40 %, а условно чистый доход составил 225,5-306,5 тыс. руб./га.

Внесение минеральных удобрений и на их фоне фосфогипса потребовали дополнительных денежных затрат, которые в фоновом варианте опыта при N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>150</sub> увеличились по сравнению с контролем в среднем на 17,4 тыс. руб./га.

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. превышают контроль. Последовательное увеличение дозы фосфогипса 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.

Таблица 5 – Экономическая эффективность сортов лука репчатого\*, 2021-2023 гг.

Показатель	Вариант						
	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
Средняя урожайность за 3 года, т/га	<u>36,3</u>	<u>61,7</u>	<u>64,8</u>	<u>66,6</u>	<u>68,9</u>	<u>68,4</u>	<u>67,8</u>
	37,0	59,1	60,8	62,5	63,9	63,8	62,9
Стоимость реализации урожая с 1 га, тыс. руб	<u>561,3</u>	<u>779,0</u>	<u>818,1</u>	<u>840,9</u>	<u>869,9</u>	<u>863,5</u>	<u>855,9</u>
	563,2	751,2	772,8	794,5	812,3	811,0	799,6
Производственные затраты на 1 га, тыс. руб	<u>499,7</u>	<u>553,5</u>	<u>556,8</u>	<u>560,1</u>	<u>563,4</u>	<u>566,7</u>	<u>569,9</u>
	500,4	554,2	557,5	560,8	564,1	567,4	570,6
Прибыль с 1га, тыс. руб.	<u>61,6</u>	<u>225,5</u>	<u>261,3</u>	<u>280,8</u>	<u>306,5</u>	<u>296,9</u>	<u>286,0</u>
	62,9	196,9	215,3	<u>233,7</u>	248,2	243,7	229,0
Рентабельность, %	<u>12,3</u>	<u>40,7</u>	<u>46,9</u>	<u>50,1</u>	<u>54,4</u>	<u>52,4</u>	<u>50,2</u>
	12,6	35,5	38,6	41,6	44,0	42,9	40,1

Примечание. \*Числитель – сорт Манас, знаменатель – сорт Визион

Хотя производственные затраты незначительно выросли, удалось достичь максимальной прибыли, равной 248,2 тыс. руб./га и получить уровень рентабельности в 44,0 %. Внесение 8 т/га ФГ способствовало увеличению стоимости продукции на 287,93 тыс. руб./га и рентабельности на 45,51 %. По результатам исследований можно сделать заключение, что все варианты норм внесения в почву фосфогипса на посевах лука сорта Визион 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.

В южной агроклиматической зоне Самарской области на черноземе обыкновенном экономически более целесообразно под посеvy репчатого лука сортов Манас и Визион вносить фосфогипс в норме 6 т/га, в этом случае обеспечивается наибольшая прибавка урожая относительно контроля на 32,6 т/га, 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 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании агрохимического обследования почвы исследуемого опытного участка, представленного черноземом обыкновенным остаточно-луговатым малогумусным среднемощным 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.

2. Запасы гумуса чернозема обыкновенного остаточно-луговатого среднемощного 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.

3. 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.

4. При внесении фосфогипса в почве увеличивается содержание нитратного ( $NO_3^-$ ) и легкогидролизуемого азота: контроль и фон  $N_{100}P_{100}K_{150}$  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.

5. 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.

6. Установлена прямая зависимость между увеличением дозы вносимого фосфогипса и содержанием кальция в почвах: при внесении 4 т/га – 17,27 ммоль/100 г, при внесении 6 т/га – 18,25 ммоль/100 г, что соответствует высокому содержанию, при внесении 8 т/га – 20,5 ммоль/100 г, соответствующее 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.

7. При внесении фосфогипса содержание всех изучаемых тяжелых металлов в почве находилось ниже ПДК в 2,5-6,0 раза. Накапливающимся 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 %.

8. 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.

9. Геохимические ряды характеризующие почвы под участками лука репчатого, отображены в виде ранжирования по убыванию Кс химических элементов:

$$\begin{aligned} \text{сорт Манас Cd 0,88 Ni 0,69 Fe 0,63} &= \frac{1}{\text{Pb 0,10 Cu 0,06 Mn 0,04 Zn 0,03}} \\ \text{сорт Визион Cd 0,88 Fe 0,72 Ni 0,69} &= \frac{1}{\text{Pb 0,12 Cu 0,06 Mn 0,04 Zn 0,03}} \end{aligned}$$

10. 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. Во 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 фоновых: 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.

11. 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 незначительна ( $ПБЭ_{Zn} < 0,3$ ). Для кадмия  $ПБЭ_{Cd} = 0,45-0,62$  для сорта Манас,  $ПБЭ_{Cd} = 0,49-0,71$  для сорта Визион,  $КБП_{Cd} < 0,3$ , 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.

12. 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 увеличивалась 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 возросла с 36,3 т/га до 68,90 т/га, рентабельность равнялась 54,4 %, прибыль составила 248,2 тыс. рублей с 1 га.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ 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 ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), 2-3% подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ), 15% оксида кремния ( $SiO_2$ ) и 20-22% кальция (Ca), в норме 6 т/га на фоне внесения минеральных удобрений в норме  $N_{100}P_{100}K_{150}$ .

## **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. Данные опытные результаты целесообразно использовать при разработке региональных технологий выращивания лука репчатого.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в перечне рецензируемых изданий**

1. **Соловьев, А. А.** Особенности накопления тяжелых металлов в черноземной почве при внесении фосфогипса под посевы лука репчатого / А. А. Соловьев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3 (107). – С. 87-92.

2. **Соловьев, А. А.** Влияние фосфогипса на продуктивность лука при выращивании в условиях степной зоны Самарского Заволжья / Н. И. Аканова, Н. М. Троц, Л. Н. Холомьева, А. А. Соловьев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 3-10.

3. **Соловьев, А. А.** Оценка эффективности фосфогипса в агроценозах ярового ячменя / Н. М. Троц, Н. В. Боровкова, А. А. Соловьев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 3-11.

4. **Соловьев, А. А.** Эколого-мелиоративные приемы повышения продуктивности чернозема солонцеватого в условиях Самарской области / Н. М. Троц, А. А. Соловьев, Н. В. Боровкова, А. А. Бокова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 9-15.

### **Публикации в других изданиях**

5. **Соловьев, А. А.** Агроэкологическая оценка эффективности фосфогипса на посевах подсолнечника / В. Б. Троц, Н. М. Троц, А. А. Соловьев [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XXI Международной научно-практической конференции, Горки, 23–26 января 2023 года / Горки: БГСХА, 2023. – С. 247-252.

6. **Соловьев, А. А.** Влияние хелатных форм микроэлементов на урожайность овощных культур в условиях степной зоны среднего Поволжья / Н. М. Троц, А. А. Соловьев, Н. В. Боровкова [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XXI Международной научно-практической конференции, Горки, 23–26 января 2023 года / Горки: БГСХА, 2023. – С. 252-255.

7. **Соловьев, А. А.** Влияние органоминеральной подкормки на урожайность лука при выращивании на орошении в условиях степной зоны среднего Поволжья / Н. М. Троц, А. А. Соловьев, Н. В. Боровкова // Инновационные достижения науки и техники АПК: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Кинель, 28 февраля 2022 года. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2022. – С. 13-16.

8. **Соловьев, А. А.** Влияние хелатных форм микроэлементов на урожайность овощных культур в условиях орошения степной зоны Среднего Поволжья

/ Н. М. Троц, Н. В. Боровкова, А. А. Соловьев // Сборник научно-практических материалов международных научно-практических конференций, посвящённый XXX-летию Татарского института переподготовки кадров агробизнеса, Казань, 26 мая 2022 года / Выпуск XVI. – Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса», 2022. – С. 596-600.

9. **Соловьев, А. А.** Технология возделывания лука на орошении в степной зоне среднего Поволжья / А. А. Соловьев // Современные проблемы агропромышленного комплекса: сборник научных трудов 74-й Международной научно-практической конференции, Самара, 16 июня 2021 года / Самарский государственный аграрный университет. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2021. – С. 13-14.

10. **Соловьев, А. А.** Повышение продуктивности лука-репки при дробном минеральном питании с фертигацией жидкими удобрениями КАС при поливе / В. А. Милюткин, Н. Г. Длужевский, Е. П. Цирулев [и др.] // Современные технологии защиты и выращивания сельскохозяйственных культур: Сборник статей I Национальной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета, Саратов, 05–07 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 136-144.

11. **Соловьев, А. А.** Повышение эффективности производства овощей-лука репчатого с применением КАС при орошении / В. А. Милюткин, Н. Г. Длужевский, А. А. Соловьев // Современные технологии защиты и выращивания сельскохозяйственных культур: Сборник статей I Национальной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета, Саратов, 05–07 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 145-150.

12. **Соловьев, А. А.** Повышение эффективности производства овощей - лука репчатого с применением КАС при орошении / В. А. Милюткин, Н. Г. Длужевский, А. А. Соловьев // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 20 января 2022 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2022. – С. 149-153.

*Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л.1.3 Тираж 100 экз. Заказ № 1603  
подписано в печать 24.09.2024*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Самарский государственный аграрный университет»*

*Отпечатано в редакционно-издательском отделе*

*ФГБОУ ВО Самарский ГАУ*

*446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2*

*Тел.: (84663) 46-2-44, 46-2-47 Факс 46-2-44, E-mail: ssaariz@mail.ru*