

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

В.К. Хлюстов, Х. Исмаил

**АГРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ  
ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ СИРИИ**

*Монография*

Москва  
Издательство РГАУ-МСХА  
2025

УДК 631.6:630\*114.445(569.1)  
ББК 40.6:40.342.3(5Сир)  
Х 62

**Хлюстов В.К., Исмаил Х.** Агробиологическая мелиорация засоленных почв Сирии: Монография / В.К. Хлюстов, Х. Исмаил - М.: Изд. - во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025. - 298 с., библиограф. 291 назв.

Монография посвящена решению актуальной проблемы восстановления плодородия засоленных почв в условиях аридного климата. В книге представлены современные научно обоснованные подходы к биологической мелиорации с использованием компоста и биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus*.

Основное внимание уделено исследованию влияния биомелиорантов на водно-физические свойства почв, снижение концентрации солей, повышение урожайности люцерны и оптимизацию водопотребления. Авторы разработали статистические модели динамики кислотности, электропроводности и содержания солей в почвенном профиле, а также предложили схемы нормирования поливного режима.

Книга будет полезна агрономам, почвоведом, экологам, а также специалистам в области устойчивого сельского и водного хозяйства. Предложенные технологии и рекомендации могут быть адаптированы для использования в засушливых регионах других стран.

Монография сочетает в себе фундаментальные исследования и практическую направленность, что делает её ценным инструментом для решения задачи повышения продуктивности засоленных почв.

**Рецензенты:**

**Журавлёва Л.А.** доктор технических наук, профессор кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

**Суслов С.В.** кандидат географических наук, доцент кафедры земледелия и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО «государственный университет по землеустройству»

ISBN 978-5-9675-2058-7

© В. К. Хлюстов, Х. Исмаил, 2025  
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К. А. Тимирязева, 2025

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР .....	7
1.1. Основные направления мелиорации засоленных почв .....	8
1.2. Роль микробиологической активности в улучшении состояния засоленных почв .....	11
1.3. Засоление и водно-физические свойства почв .....	16
1.4. Солевой комплекс и продуктивность агроценозов .....	18
1.5. Урожайность сельскохозяйственных культур на засоленных почвах .....	26
1.6. Промывка засоленных почв .....	28
2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ .....	33
2.1. Краткая характеристика климата, рельефа и почвообразующих пород .....	33
2.2. Современное состояние и структура почвенного покрова .....	34
2.3. Деградационные процессы почв при агрогенной трансформации .....	38
3. ОБЪЕКТЫ, ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЁМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА .....	42
3.1. Объекты исследования .....	42
3.2. Программа исследования .....	47
3.3. Методология исследования и применяемые методы .....	48
3.3.1. Схема полевого опыта и подготовка образцов почвы .....	51
3.3.2. Микробиологические методы изучения засоленных почв .....	55
3.3.3. Приготовление микробиологических удобрений .....	62
3.3.4. Методики эколого-мелиоративной оценки почв .....	64
3.3.5. Методики мониторинга промывки засоленных почв .....	68
3.3.6. Методы определения водно-физических свойств почвы и концентрации солей .....	69
3.3.7. Методы статистической обработки данных .....	72
3.3.8. Объём экспериментального материала .....	74
4. ВЛИЯНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТЬ .....	78
4.1. Микробиологическая активность засоленных почв .....	78
4.2. Рекомендации по инокуляции семян люцерны с использованием микробиологических препаратов .....	83
4.3. Влияние микробиологической активности на урожайность люцерны .....	85
6. ВЛИЯНИЯ БИОМЕЛИОРАНТОВ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ, КИСЛОТНОСТЬ И КОНЦЕНТРАЦИЮ СОЛЕЙ ПОЧВЫ .....	87
5.1. Изменение электропроводности под влиянием биопрепаратов .....	87

5.2. Влияние биомелиорантов на кислотность почвы .....	100
5.3. Динамика концентрации солей калия, кальция, магния и натрия .....	114
6. ВЛИЯНИЕ БИОМЕЛИОРАНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ....	156
1.1. Урожайность люцерны в период исследования .....	156
1.2. Влияния биомелиорантов на общую урожайность .....	159
1.3. Распределение урожая по укосам и годам выращивания .....	174
1.4. Сравнение урожайности по условиям опыта.....	181
2. ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ЛЮЦЕРНЫ НА ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВАХ .....	193
2.1. Методика оценки климатических и водных потребностей люцерны ...	193
2.2. Расчёт эвапотранспирации для оптимизации водопотребления .....	205
2.3. Регулирование водного баланса и режима орошения .....	217
2.4. Модели нормирования поливного режима .....	235
7.5. Эффективность выращивания люцерны на засоленных почвах.....	242
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ.....	245
3.1. Конструкция установки для промывки засоленных почв и оценка её эффективности.....	245
3.2. Методические указания и инструкция по использованию установки ..	255
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА .....	258
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	261
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	263
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	290

## ВВЕДЕНИЕ

Засоление почв — одна из наиболее острых экологических и агрономических проблем в аридных регионах, включая Сирию. Этот процесс приводит к деградации почвенного покрова, снижению его плодородия и значительным потерям урожайности сельскохозяйственных культур. В условиях засоления ухудшаются физико-химические свойства почвы, ограничивается доступность питательных веществ для растений, что оказывает негативное воздействие на продовольственную безопасность региона.

Сирийская Арабская Республика, где большая часть сельскохозяйственных угодий представлена засоленными почвами, сталкивается с вызовами рационального использования природных ресурсов. При этом традиционные методы мелиорации, такие как промывка или внесение химических реагентов, часто оказываются недостаточно эффективными или экологически неустойчивыми. В этих условиях особую актуальность приобретают природоподобные технологии, направленные на восстановление почвенных экосистем.

Данная монография посвящена изучению агробиомелиоративных приёмов, обеспечивающих восстановление плодородия засоленных почв Сирии. Основное внимание уделено применению биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus*, для снижения уровня засоленности, улучшения водно-физических свойств почвы и повышения урожайности кормовых культур, включая люцерну (*Medicago sativa*).

Работа сочетает в себе полевые эксперименты, лабораторные исследования и математическое моделирование. Впервые для агроклиматических условий Сирии разработаны и апробированы:

- модели динамики концентрации солей и водно-физических свойств почвы под влиянием биомелиорантов;
- схемы оптимального режима орошения, основанные на методе Пенмана-Монтейта;
- многомерные модели структуры урожайности люцерны по укосам и годам выращивания.

Предложенные агробиомелиоративные приёмы демонстрируют высокую эффективность в восстановлении плодородия засоленных почв. Применение компоста и биопрепаратов позволяет не только снизить уровень засоленности, но и рационально использовать водные ресурсы, что крайне важно в условиях ограниченности пресной воды. Разработанные технологии обладают потенциалом для широкого внедрения как в Сирии, так и в других регионах с засушливым климатом.

Монография состоит из восьми глав, включающих теоретические аспекты мелиорации, методологию исследований, анализ экспериментальных данных, описание разработанных моделей и практических рекомендаций. Работа объединяет фундаментальный подход и прикладные решения, предлагая инновационные методы для устойчивого управления засоленными почвами.

Настоящее исследование вносит вклад в развитие агрономической науки и является основой для дальнейших разработок в области биологической мелиорации и оптимизации водного режима сельскохозяйственных экосистем в условиях аридного климата.

## 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### *Обзор литературы и состояние проблемы*

Более 17% сельскохозяйственных земель Сирийской Арабской Республики (САР) подвержены засолению, что значительно влияет на их продуктивность, качество и объёмы производства сельскохозяйственной продукции. Это негативно сказывается на экспортном потенциале продовольствия и развитии экономики республики в целом. Повышение плодородия и продуктивности щелочных засоленных почв является важной проблемой не только в Сирии и России, но и во всём мире.

Вопросам решения проблемы повышения плодородия и продуктивности засоленных почв различными видами мелиорации посвящены работы многих сотрудников кафедры мелиорации РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в последние годы. В числе таких исследователей: Дубенок Н.Н. и Дедова Э.Б. (2013), Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т. и Абдешев К.Б. (2015), Шамсутдинов Н.З. (2001), Касьянов А.Е. (2022). Кроме того, значительный вклад внесли и другие исследователи: Пахчанян Г.Г. (1983), Юкин Н.А., Цупиков М.Т. (1989), Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д. (2004), Рахимжанов А.Н. (2016), Саакян С.В. (2017), Романов А.Н., Хвостов И.В. (2017), Каллас Е.В., Марон Т.А. (2018), Мохова В.И. (2020), Осипов А.В., Сухоруков К.А. (2023), Герасимов Ю.Ю., Хлюстов В.К. (2001). Эти работы послужили теоретической и методологической основой для подготовки диссертации. Несмотря на значительный вклад исследователей в изучение засоленных почв и методов их улучшения, большинство исследований охватывают использование только отдельных технологий мелиорации, без применения комплексного подхода.

Совершенствование технологии мелиорации щелочных засоленных почв имеет актуальное научное значение и практическую ценность для Сирии, особенно при использовании комплексной мелиорации. Это требует

учёта зональной специализации сельского хозяйства, водных, почвенных и климатических ресурсов, а также местных отходов производства.

### **1.1. Основные направления мелиорации засоленных почв**

Анализ литературных источников по проблемам мелиорации засоленных почв позволяет выделить шесть тематических направлений. Каждое из них включает в себя работы, рассматривающие определённые аспекты мелиоративных мероприятий и методов, используемых для улучшения структуры почв и повышения их продуктивности.

#### ***Комплексные мелиорации и борьба с деградацией земель***

Источники этого направления охватывают вопросы комплексного подхода к мелиорации земель, направленного на борьбу с опустыниванием и деградацией земельных ресурсов. Особое внимание уделяется адаптации мелиоративных технологий к различным климатическим и почвенным условиям. Исследования также рассматривают интеграцию междисциплинарных и международных подходов к решению проблем деградации почв (Шевченко, Дедова, Исаева, 2023); (Дедова, Исаев, 2024); (Гулиев, Самофалова, Мудрых, 2014); (Каюмова, 2021); (Панкова, Конюшкова, Горохова, 2017 ); (Пунинский, 2020); (Федотова, Умарова, Шваров и др., 2023); (Шеримбетов, Мазиров, Гафурова, 2020); (Эркаев, Тоиров, Закиров и др., 2018. ); (Lal, 2004); (Reynolds, Stafford Smith,...,Walker, 2007); (Geist, Lambin, 2004); (D'Odorico, Bhattachan, ..., Runyan, 2013); (Herrick, Van Zee, Havstad,..., Whitford, 2005).

#### ***Водный режим и автоморфное увлажнение***

В этом тематическом направлении в источниках рассматриваются различные методы управления водным режимом засоленных почв. Особое внимание уделено технологиям увлажнения, таким как автоморфный режим, которые способствуют улучшению водного и воздушного режима



почв, что в свою очередь помогает сохранить их плодородие. Эти исследования предлагают решения для адаптации технологий под различные региональные условия, повышая устойчивость сельскохозяйственных земель к засолению (Мирзоев, Баламирзоев и др., 2010); (Бородычев, Дедова и др., 2016); (Рахманов, Мирсаитова, Ганиев, 2024); (Сейтказиева, Куандыкова, Жигитова, 2020); (Scanlon, Jolly, ..., Zhang, 2007); (Falkenmark, Rockström, 2006); (Hatfield, Prueger, 2004); (Passioura, 2006; Oweis, Nachum, 2006).

### ***Агромелиорация и биологические методы улучшения почв***

В этом тематическом направлении представлены исследования, посвящённые применению агротехнических и биологических методов для улучшения плодородия и структуры засоленных почв. Эти методы включают использование биопрепаратов, биоудобрений и биоинтенсивных технологий. Особое внимание уделено комплексным подходам, сочетающим органические и минеральные удобрения, гипсование, а также применение устойчивых к солям сельскохозяйственных культур. Исследования доказывают, что такие методы значительно повышают продуктивность земель (Сейтказиев, Мусаев, 2010); (Устемирова, Мамонов и др., 2017); (Жоллыбеков, Жоллыбеков, 2016); (Абдешев, Мустафаев, Козыкеева и др., 2018); (Абдурахимов, Болтаев, 2020); (Бородычев, Губин, Коломийцев и др., 2014); (Хамраева, 2019); (Tilman, Cassman, ..., Polasky, 2002); (Giller, Beare, ..., Swift, 1997); (Vessey, 2003; Drinkwater, Letourneau, ..., Shennan, 1995); (Lugtenberg, Kamilova, 2009).

### ***Химические методы мелиорации засоленных почв***

В этом направлении обсуждаются химические методы мелиорации засоленных почв, особенно использование такого вещества, как фосфогипс, которое активно применяется для улучшения структуры и уменьшения засоленности почв. Исследования показывают, что химические мелиоранты могут существенно повысить водопроницаемость и плодородие, а также

сократить концентрацию вредных солей в почве. Эти методы играют ключевую роль в восстановлении и поддержании продуктивности сельскохозяйственных земель (Ниёзов, Комилов, Курбонов, 2020); (Абдешев, Мустафаев, Козыкеева, 2020); (Бекбаев, 2016); (Манжина, 2021); (Munns, Tester, 2008); (Qadir, Schubert, Murtaza, 2001); (Oster, Jayawardane, 1998); (Huang, Redmann, 1995); (Rengasamy, 2006).

### ***Экологические аспекты мелиорации и устойчивое управление земельными ресурсами***

В этой тематической группе освещены исследования, посвящённые экологическим аспектам мелиорации засоленных земель. Авторы фокусируются на разработке экологически безопасных методов мелиорации, которые позволяют минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить устойчивое использование земельных ресурсов. В работах подчёркивается важность мониторинга и контроля за состоянием мелиорируемых почв, чтобы предотвратить их дальнейшую деградацию и улучшить продуктивность (Горохова, Панкова, 2022); (Мустафаев, 2022); (Сейтказиев, Винокуров и др., 2010); (Исмаилов, Наджафова, Кейсеровская, Гасимова, 2020); (Красильникова, 2017); (Лайсханов, 2023); (Омельченко, Омельченко, Жижина, 2020); (Хасанова, Суюндуков, Семенова, 2017); (Ходжимуродова, Хакимова, Тагаева и др. 2021); (Swift, Izac, Noordwijk, 2004); (Robertson, Swinton, 2005); (Foley, Ramankutty, ..., Zaks, 2011); (Power, 2010); (Lambin, Turner, ..., Xu, 2001); (Smith, Martino, ..., Smith, 2007).

### ***Инновационные технологии в мелиорации засоленных почв***

Источники этого направления исследований посвящены передовым технологиям, которые ускоряют и оптимизируют процесс мелиорации засоленных почв. Исследования фокусируются на разработке новых методов и техники, таких как специализированные мелиоративные машины, системы автоматизированного полива, применение химических

мелиорантов и биопрепаратов, которые позволяют существенно улучшить состояние засоленных земель. Эти технологии направлены на повышение продуктивности почв за счёт более точного и эффективного управления солевыми и водными режимами (Умедова, Муродуллаева, 2022); (Гарибян, 2022); (Бурлова, Зеленская, 2015); (Абдуллаев, Абдуллаева, 2022 ); (Бармин, Валов, Иолин, 2015); (Ибраева, Сулейменова, Дуйсеков и др. 2021); (Костенков, Клышевская, 2014); (Моисеев, Данилова, Терлеев, 2023); (Рахимжанов, 2016); (Qadir, Quill rou,..., Schubert, 2014); (Gill, Tuteja, 2010); (Bouma, 2001); (Farooq, Wahid, Lee, 2009); (Daliakopoulos, Tsanis, ..., Ritsema, 2016).

Указанные источники охватывают основные направления исследований в области мелиорации засоленных почв, предоставляя целостную картину существующих подходов, методов и технологий, направленных на повышение плодородия и устойчивости земель.

## **1.2. Роль микробиологической активности в улучшении состояния засоленных почв**

Важным элементом биологической мелиорации является комплексная оценка микробиологической активности почв, изложенная в специальной литературе по условно принятым в исследовании тематическим направлениям.

### ***Микробное сообщество засоленных и аридных почв***

Исследования в этом направлении сосредоточены на структуре микробных сообществ и их адаптациях к засоленным и аридным условиям. В статьях анализируется влияние засоления и экстремальных климатических условий на микробные экосистемы, их функции в разложении органического вещества и участие в почвообразовательных

процессах. Особое внимание уделено роли микроорганизмов в улучшении состояния почв и поддержании их продуктивности.

Так, в частности о микробных сообществах в аридных почвах юго-востока России изложено в работе Германа Н. В., Иванцовой Е. А., Холоденко А. В. (2017). О микробиологическом составе засоленных почв аридных территорий – в работе Григоряна Л. Н., Батаевой Ю. В., Яковлевой Л. В. (2018). О экстремофильных микробных сообществах засоленных почв Прикаспийской низменности – в статье Халиловой Э. А., Котенко С. Ц., Исламмагомедовой Э. А. (2017). Дополнительные источники этого направления представлены работами Абдуллабекова Д. А., Магомедова Е. С., Магомедов Г. Г., Качалкин А. В. (2021); Васильченко Н. Г., Горовцов А. В. (2015); Новочадов В. В., Иванцова Е. А., Крылов П. А. и др. (2018) Халилова Э. А., Аливердиева Д. А., Котенко С. Ц. и др. (2017).

Зарубежные исследования в этом направлении изложены в публикациях (Rietz, Haynes, 2003), (Marcelli, Marasco, Rolli, ..., Daffonchio, 2013), (Jansson, Prosser, 2013); (Oren, 2008).

### ***Влияние засоления на микробную активность***

Это направление охватывает исследования, посвящённые изучению влияния засоления почв на микробную активность и численность микроорганизмов. В статьях анализируется, как высокая концентрация солей снижает микробную активность, изменяет структуру микробных сообществ и влияет на процессы разложения органического вещества и питательных элементов. Также рассматриваются методы восстановления микробной активности на засоленных землях с использованием биопрепаратов и других технологий.

О влиянии засоления на микробиологическую активность почв указано в статье Ибраевой М. А., Шаухаровой Д. Е., Джумановой М. (2020). О биоэнергетике засоленных почв и её влияние на микробную активность указано в публикации Самедова П. А. (2019). Об использовании микробного дыхания для оценки состояния почв под антропогенным воздействием - в

статье Каравасовой Т. И., Тихонова В. П. (2017). Зарубежные исследования в этом направлении представлены работами (Delgado-Baquerizo, Maestre, ..., Ochoa, 2013); (Yuan, Yue, Liu, 2007); (Fierer, Jackson, 2006); (Rietz, Haynes, 2003); (Tripathi, Kim, Byun, ..., Lee, 2018).

### ***Биостимуляция и восстановление микробной активности почв***

Исследования в указанном направлении посвящены методам биостимуляции, направленным на восстановление микробной активности засоленных почв и повышение их плодородия. В статьях обсуждаются использование биопрепаратов, микроорганизмов и органических мелиорантов для активизации микробных процессов, улучшения структуры почвы и ускорения её восстановления. Особое внимание уделено применению бактерий, таких как *Bacillus* и фосфатмобилизующие микроорганизмы, для улучшения состояния почв.

О биостимуляции засоленных почв для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур изложено в публикации Разоковой Д. Р., Буриевой Д. И., Атаевой З. А. (2024). Об использовании фосфатмобилизующих бактерий на щелочных засоленных почвах указывают Сырчина Н. В., Кутявина Т. И., Комоско Г. В. (2023). О тестировании клубеньковых бактерий для засоленных почв указано в работе Скипина Л. Н., Гаевая Е. В., Тарасовой С. С. (2020). Об определении активности штаммов солеустойчивых бактерий в условиях засоления – в работе Евенкова-Чернецова К. И. (2020). Зарубежные публикации в этом направлении представлены работами (Vessey, 2003); (Yang, Kloepper, Ryu, 2009); (Bhattacharyya, Jha, 2012); (Kang, Radhakrishnan, You, Lee, 2015); (Egamberdieva, Wirth, Alqarawi, ..., Hashem, 2017).

### ***Экологическая оценка микробной активности и её роль в почвообразовании***

В это тематическое направление включены исследования роли микробной активности в поддержании здоровья почв и их плодородия.

Авторы оценивают вклад микроорганизмов в почвообразовательные процессы, такие как гумусообразование, улучшение структуры и водопроницаемости почв. Эти исследования подчеркивают важность мониторинга микробной активности для оценки экологического состояния почв и разработки мелиоративных мероприятий.

На микробиологическую активность как фактор почвообразования указывают Савич В. И., Мосина Л. В., Норовсурэн Ж. (2019). Об оценке экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности указано в статье Хасановой Р. Ф., Суюндукова Я. Т., Семёновой И. Н. (2017). На содержание агрономически значимых бактерий в различных типах почв указывают Соколова О. Я., Михайлова Е. А., Жеребятъева О.О. (2023). Сравнение биохимической активности бактерий рода *Bacillus* проведено Белозеровой Е. С., Мороз А. А. (2017). О роли почвенно-биологические методы в экологическом мониторинге засоленных почв – в работе Якутина М. В. (2017). Зарубежные исследования в этом направлении представлены в публикациях (Lal, 2004); (Schlesinger, 2010); (Wardle, Bardgett, ..., Wall, 2004); (Giller, Beare, ..., M., Swift, 1997); (Ritz, Young, 2004).

### ***Использование микроорганизмов для биоремедиации и повышения устойчивости растений***

Исследования в этом направлении фокусируются на применении микроорганизмов для биоремедиации засоленных почв и повышения устойчивости сельскохозяйственных растений к неблагоприятным условиям, таким как засоление и засуха. В статьях описываются механизмы действия ризобактерий, экстремофильных микробов и других полезных микроорганизмов, которые способствуют улучшению роста растений, повышению их устойчивости к солевому стрессу и улучшению экологического состояния почв.

О роли бактерий продуцентов в защите растений от солевого стресса указано в работе Назарова А. В., Ананьиной Л. Н., Горбунова А. А. (2022). О морфофизиологических особенностях бактерий для повышения устойчивости растений на засоленных почвах свидетельствует публикация Бегматова Ш. А., Селицкой О. В., Васильевой Л. В. (2020). О влиянии галофильных микроорганизмов на рост кукурузы в условиях засоленных почв изложено в работе Сапарова А. С., Токсеитова Н., Карабаевой И. Ж. (2020). Потенциал микробно-растельного взаимодействия исследован Наумович Н. И., Антохиной С. П., Алещенковой З. М. (2016). Зарубежные публикации в этом направлении представлены (Bashan, de-Bashan, 2010); (Egamberdieva, Wirth, ..., Hashem, 2017); (Glick, 2012); (Lugtenberg, Kamilova, 2009).

#### ***Инновационные биотехнологии для мелиорации засоленных земель***

Исследования в этом направлении сосредоточены на разработке и применении инновационных биотехнологий для восстановления плодородия засоленных почв и повышения устойчивости агроэкосистем. В публикациях обсуждаются перспективные биопрепараты на основе микроорганизмов, способных улучшать структуру почв, мобилизовать питательные вещества и снижать уровень засоленности. Эти технологии направлены на создание экологически безопасных решений для повышения продуктивности сельского хозяйства в неблагоприятных условиях.

На биоразнообразии микробных сообществ и их применение для мелиорации засоленных почв указывают Халилова Э. А., Аливердиева Д. А., Котенко С. Ц. (2017). О биопрепаратах на основе бактерий рода *Bacillus* как альтернативы химическим препаратам в сельском хозяйстве указано в публикации Хадиевой Г. Ф., Лутфуллина М. Т., Мардановой А. М. (2016). Об ассоциативных бактериях засоленных почв и их использование в агrobiотехнологиях указано в исследовании Бегматова Ш. А. (2020), обзор новых направлений приведён в работе Воеводиной Л. А., Балакай Г. Т.

(2017). Зарубежные исследования представлены публикациями (Khan, Vano, Rahman, ..., Babar, 2019); (Gill, Tuteja, 2010).

Указанные публикации охватывают основные направления исследований в области микробиологической активности почв для мелиорации и улучшения состояния засоленных земель.

### **1.3. Засоление и водно-физические свойства почв**

#### *Влияние засоления на водно-физические свойства почв*

В это направление входят исследования, которые фокусируются на изучении влияния засоления на ключевые водно-физические свойства почв, такие как кислотность, электропроводность, влажность и окислительно-восстановительный потенциал. Исследования рассматривают, как засоление меняет физические характеристики почв, включая водопроницаемость и удержание влаги, и каким образом это влияет на продуктивность земель. О вариабельности кислотности и электропроводности в почвах указано в публикации Енчилик П. Р., Клинк Г. В., Пеуновой А. А. (2024). О химическом составе водной вытяжки и оценки степени засоления орошаемых почв – в статье Дровозовой Т. И., Паненко Н. Н. (2020). Обзор Munns, R., Tester, M. (2008) посвящён физиологическим и молекулярным механизмам толерантности растений к засолённости почвы, выделяя роль кислотности почвы и электропроводности в ограничении роста растений. Руководство Richards, L. A. (1954) по оценке и управлению солёными и щелочными почвами, охватывающее методы решения проблем, связанных с кислотностью почвы и электропроводностью. В статье Corwin, D. L., Lesch, S. M. (2005) рассматривается использование измерений электропроводности почвы как диагностического инструмента в сельском хозяйстве. В книге Läuchli, A., Lüttge, U. (2002) представлен комплексный обзор экологических и молекулярных аспектов реакции растений на засолённость почвы. В



исследовании Rengasamy, P., Olsson, K. A. (1991) рассматриваются эффекты содичности на структуру почвы, с акцентом на то, как кислотность и электропроводность почвы влияют на её стабильность и проницаемость

### ***Пространственная изменчивость водно-физических свойств почв***

В этом направлении охватываются исследования, посвящённые пространственной изменчивости водно-физических свойств почв, включая кислотность, влажность и электропроводность. Так, в статье Гутько Ф. С., Киндеева А. Л. (2023) обсуждаются методы геостатистического анализа, которые позволяют оценивать неоднородность этих свойств на больших территориях и использовать данные для точного земледелия и мелиоративных мероприятий. В работе Клебанович Н. В., Киндеева А. Л., Сазонова А. А. (2021) подчёркивается важность картографирования пространственной неоднородности влажности и кислотности почв.

### ***Методы и технологии для улучшения водно-физических свойств засоленных почв***

В это направление исследований включены работы, посвящённые разработке методов и технологий для улучшения водно-физических свойств засоленных почв. В методическом указании Поздняковой А.И (2005) рассмотрено использование полевых электрофизических методов с целью исследования почв. В статье Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н. (2020) обсуждаются методы мелиорации, такие как промывка почв, внесение мелиорантов (например, гипса) и использование инновационных технологий, направленных на восстановление плодородия и водоудерживающих способностей почв. В статье Rengasamy, P. (2010) исследуется влияние засоленности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур, с акцентом на процессы, происходящие в почве. В статье Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A., Murtaza, G. (2001) проводится обзор различных стратегий мелиорации содовых почв, обсуждается эффективность различных методов мелиорации для улучшения

состояния почвы. В статье Letey, J., Hoffman, G. J., Нормans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D. L., Corwin, D. L., Oster, J. D. (2011) рассматриваются руководящие принципы по вымыванию солей из почв, с учётом влияния кислотности и электропроводности почвы на эффективность этих процессов. Руководство в публикации Oster, J. D., Jayawardane, N. S. (1998) по управлению содовыми почвами, с акцентом на поддержание оптимальных уровней кислотности и электропроводности и улучшению состояния почвы и урожайности культур.

#### **1.4. Солевой комплекс и продуктивность агроценозов**

##### ***Влияние органических и минеральных удобрений на содержание калия***

Исследования в этом направлении рассматривают, как различные виды органических и минеральных удобрений, включая навоз, компост и другие биопрепараты, влияют на содержание калия в почве. В них подробно анализируются механизмы, посредством которых удобрения повышают содержание питательных веществ, улучшают катионный обмен и предотвращают вымывание калия. В частности, влияние минеральных и органических удобрений на вымывание калия приведено в статьях А.П. Карабутова (2015), Yakovleva L. V., Danilov D. A., Nikolaeva E. A. (2020), о влиянии длительного применения минеральных удобрений и соломы в севообороте на калийный режим чернозёма, выщелоченного в работе Н.А. Воронкова (2015). О влиянии органических удобрений на содержание калия и продуктивность растений – в публикации Ali H. A. (2023). Баланс калия в системе выращивания сои и пшеницы при применении удобрений рассматривают Pathariya P., Dwivedi B. S., Dwivedi A. K. et al. (2021).

##### ***Роль калия в росте и развитии растений***

Это направление входят исследования, посвящённые роли калия в физиологических процессах растений, таких как фотосинтез, осморегуляция и активация ферментов. Исследования показывают, что достаточное содержание калия способствует увеличению урожайности, улучшению качества продукции и повышению устойчивости растений к абиотическим стрессам, таким как засуха и солевой стресс. Так, роль калия в физиологических процессах растений освещали Журова В.Г., Светличная М. С. (2018), Kumar S., Kaniganti S., Nima Kumari P. et al. (2022), применение минеральных и органических удобрений при выращивании риса рассматривали Приходько, И. А., Сергеев, А. Э., Комсюкова, Я. А. (2022), о влиянии доступности калия на рост и развитие ячменя указывает Сидорова, Л. В., Яичкин, В. Н. (2017), влияние калия на урожайность и устойчивость риса рассматривали Nand M. M., Singh S. P., Kishor K. et al. (2020), о влиянии доступности калия на рост и развитие ячменя указывают Azzawi W. A., Gill M. B., Fatehi F. et al. (2021).

### ***Влияние калия на качество урожая***

В исследованиях этого направления основное внимание уделяется влиянию калия на качество и количество урожая различных сельскохозяйственных культур. Авторы изучают, как содержание калия в почве способствует увеличению биомассы, урожайности, а также улучшению качества продукции, например, содержание питательных веществ и размер плодов. Так, в статье Якименко, В. Н. (2017), Волошина, Е. И. (2006) показано влияние калия на рост, урожайность и качество картофеля, в исследовании Мимонова, Р. В., Шаповалова, В. Ф., Смольского, Е. В., Нечаева, М. М., Дьяченко, В. В. (2020) описано влияние удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы, в публикации Ali M., Petropoulos S. A., Selim D. A. F. H. et al. (2021) показано влияние калия на рост, урожайность и качество картофеля, в работе Abro S. A., Adnan M., Ahmed N. et al. (2022) описано влияние калийных удобрений на рост и

урожайность пшеницы в условиях солевого стресса. О важность калия для производства картофеля и устойчивости к стрессам указано в статье Torabian S., Farhangi-Abriz S., Qin R. et al. (2021).

### ***Влияние органических удобрений на содержание кальция в почвах***

Это направление исследований фокусируется на воздействии различных органических удобрений, обогащённых кальцием, на содержание кальция в почве. Изучается, как такие удобрения влияют на доступность питательных веществ и вторичных метаболитов в растениях, а также на продуктивность сельскохозяйственных культур, выращиваемых в полевых условиях. Так, в публикации Митрофановой, Е. М. (2011) описано наличие кальция и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья, в работе Nikolaou, C. N., Chatziartemiou, A., Tsiknia, M., Karyda, A. G., Ehaliotis, C., Gasparatos, D. (2023) рассмотрено влияние кальций- и магнийсодержащих органических удобрений на доступность питательных веществ в почве и рост растений. В работе Hammouda, I. A., El-Howeity, M. A., El-Meselawe, A. E. (2017) оценивается влияние биоорганических добавок на растворимость кальция в фосфоритах в условиях песчаных и глинистых почв. В статье Gondek, K., Mierzwa-Hersztek, M. (2023) оценивается влияние минерально-органических смесей на подвижность микроэлементов и биомассу кукурузы.

### ***Влияние кальция на урожайность сельскохозяйственных культур***

Исследования в этом направлении рассматривают, как изменение содержания кальция в почве влияет на урожайность различных сельскохозяйственных культур. Особое внимание уделяется тому, как кальций увеличивает доступность других питательных элементов (например, фосфора) и влияет на pH почвы, что, в свою очередь, улучшает условия для роста растений. Так, в работе Пироговской, Г. В., Русалович, А. М. и др. (2009) оценивается эффективность комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с микроэлементами при выращивании спаржевой

фасоли. В статье Ветровой О.А. (2019), рассмотрено влияние минеральных удобрений на биохимический состав и качество плодов. В работе Nascente, A. S., Cobucci, T. (2015) оценивается влияние микрочастиц карбоната кальция на доступность фосфора и урожайность фасоли. В статье Leiva Soto, A., Culman, S. W., Herms, C., Sprunger, C., Doohan, D. (2022) рассмотрено влияние управления кислотностью почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур по сравнению с управлением катионным балансом. В статье Sahu, A., Kishore, K., Dash, S. N., Barik, S. (2022) рассмотрено влияние кальциевого питания на урожайность и качество плодов драконового фрукта.

### ***Долгосрочное применение кальциевых удобрений***

В этом направлении рассматриваются эффекты длительного применения кальциевых удобрений на физические и химические свойства почвы. Исследования показывают, как такие удобрения способствуют улучшению структуры почвы, увеличению содержания органического углерода и общего азота, что в итоге повышает плодородие почвы и урожайность. В работе Šimanský, V., Jonczak, J. ,..., Kováčik, P. (2022) оценивается влияние долгосрочного применения минеральных удобрений на физические свойства и питательный режим песчаных почв. Chuikov, V., Teberdiev, D. M., ..., Zapivalov, S. (2022). рассматривают роль известкования и минеральных удобрений на плодородие почвы и потребление питательных веществ растениями.

### ***Влияние органических удобрений на содержание магния в почвах***

Исследования в этом направлении сосредоточены на том, как органические удобрения, обогащённые магнием, влияют на содержание этого элемента в почве. Основное внимание уделяется улучшению доступности магния для растений, повышению плодородия почв и улучшению их физических свойств. В работе О.А. Литвиновой, О.В. Дмитренко, С.П.Ковальковой (2018) рассматривается влияние длительного

применения органических и минеральных удобрений на содержание микроорганизмов и тяжёлых металлов в серых лесных почвах. В статье Соколова, М. С., Спиридонова, Ю. Я., Глинушкина, А. П., Тороповой, Е. Ю. (2018) описано влияние органических удобрений, обогащённых кальцием и магнием, на доступность питательных веществ в почве и рост растений *Aloe vera*. В публикации Николаенко, А. Н., Кавокин, А. А. (2020), показано влияние органического вещества на содержание магния в почве и его усвоение растениями. В статье Nikolaou, C. N., Chatziartemiou, A., Tsiknia, M., Karyda, A. G., Ehaliotis, C., Gasparatos, D. (2023) описано влияние органических удобрений, обогащённых кальцием и магнием, на доступность питательных веществ в почве и рост растений *Aloe vera*. В публикации Pető, J., Hüvely, A., Vojnich, V. J., Cserni, I. (2020) показано влияние органического вещества на содержание магния в почве и его усвоение растениями.

### ***Влияние магния на рост и развитие растений***

Это направление фокусируется на роли магния как ключевого элемента для роста и развития растений. Исследования охватывают влияние магния на фотосинтез, синтез хлорофилла и другие важные физиологические процессы, а также последствия его дефицита в почве. В исследовании Нечаевой, Т. В., Гопп, Н. В., Савенкова, О. А., Смирновой, Н. В. (2019), определён магний в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири. В работе Воеводиной, Л. А. (2015), сделал обзор роли магния в почвах и растениях, включая его влияние на метаболизм растений и фотосинтез. В публикации Долгополовой, Н. В., Пигорева, И. Я. (2016), рассматриваются влияние различных концентраций минеральных комплексных соединений на тоmat тепличный. В работе Sankaralingam, P., Malarvizhi, P. (2020) определён критический уровень доступного магния в почвах, используемых для выращивания кукурузы. В работе Ferreira, L. de S., Oliveira, V. de S.,

Marchiori, J. J. Pereira, L. L. (2023) сделан обзор роли магния в почвах и растениях, включая его влияние на метаболизм растений и фотосинтез. В публикации Morozova, L. S. (2022) рассматривается влияние ионов магния на рост и развитие томатов в условиях защищённого грунта.

### ***Влияние магния на устойчивость растений к стрессам***

Исследования этого направления посвящены изучению того, как магний помогает растениям справляться с различными стрессовыми факторами, такими как засоленность, токсичность тяжёлых металлов и алюминия, а также кислотность почвы. Внимание уделяется тому, как магний улучшает физиологические показатели растений и повышает их устойчивость. В публикации Чудиновой Л. А (2006) рассматривается роль вакуолей в защите растений от высокого содержания магния. Неверов А.А. (2021) оценивал влияние магния и сульфата кальция на рост и физиологию кормовых культур при длительном воздействии солевого стресса. В работе Gao, C., Zhao, Q., Jiang, L. (2015) рассматривается роль вакуолей в защите растений от высокого содержания магния. В статье Rengel, Z., Bose, J., Chen, Q., Tripathi, B. N. (2015) описывается способность магния снижать токсичность алюминия и тяжёлых металлов для растений. Sharavdorj, K., Byambadorj, S. O., Jang, Y., Cho, J. W. (2022) оценивали влияние магния и сульфата кальция на рост и физиологию кормовых культур при длительном воздействии солевого стресса.

### ***Влияние магния на качество урожая***

Это направление исследует влияние содержания магния в почвах на качество урожая сельскохозяйственных культур. Внимание уделяется тому, как магний влияет на фотосинтез, метаболизм растений и их устойчивость к абиотическим стрессам, что в конечном итоге определяет качество и количество урожая. Так. в статье Акановой, Н. И., Козловой, А. В., Мухиной, М. Т. (2021) описана роль магния в системе питания растений. О влиянии различных магниевых удобрений на урожай и качество сои и

помело изложено в публикации Аканова Н.И., Козлова А.В., Фокин С.А., Солнцев П.И. (2022). В статье Сакмак, I. (2013) описана роль магния в производстве сельскохозяйственных культур, качестве пищи и здоровье человека. О влияние различных магниевых удобрений на урожай и качество сои и помело изложено в публикации Zhang, W.-Q., Liu, Y., Muneer, M, ..., Wu, L. (2022). О роли магниевых удобрений в сельском хозяйстве и их влияние на устойчивость растений к абиотическим стрессам в статье Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., Thiel, H. (2015).

### ***Влияние органических удобрений на содержание натрия в почве***

Это направление исследований фокусируется на воздействии органических удобрений на содержание натрия в почве. Основное внимание уделяется тому, как органические добавки влияют на обменный натрий, химические свойства почвы и общее плодородие, а также как они могут смягчить негативные эффекты содовых условий. Так, в работе Сопруновой, В. Е., Сопруновой, О. Б., Байрамбекова, Ш. Б., Поляковой, Е. В. (2020) обсуждается влияние биопрепарата на основе *Bacillus atrophaeus* на урожайность картофеля. Максимов, И. В., Абизгильдина, Р. Р., Пусенкова, Л. И (2011) исследовали стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов. В обзоре Лукин, С. В. (2021) дан анализ влияния длительного применения органических и минеральных удобрений на плодородие почвы, включая динамику натрия. В публикации Gupta, M., Srivastava, P., Singh, S. B., Singh, N., Tewari, S. K. (2015) обсуждается влияние органических добавок в сочетании с грибами, стимулирующими рост растений, на снижение обменного натрия и повышение органического углерода в содовых почвах. В исследовании Freire, M. H. C., de Sousa, G. G., de Araújo, ..., Costa, F. H. R. (2023) исследовали влияние органических удобрений на химические свойства почвы в условиях засоления с акцентом на накопление натрия и органического вещества. В обзоре Bhatt, M. K., Labanya, R., Joshi, H. C.



(2019) дан анализ влияния длительного применения органических и минеральных удобрений на плодородие почвы, включая динамику натрия.

### ***Влияние натрия на рост и развитие растений***

В этом направлении исследуется, как натрий в почве влияет на рост и развитие растений. Основное внимание уделяется механизмам осмотического стресса, ионной токсичности, а также взаимодействию натрия с калием, что может приводить к дефициту калия и снижению продуктивности растений. Так, в исследовании Ашкинази Э.И. (1998) описано взаимодействие калия и натрия в почве и растениях в условиях засоленности и содичности. О влиянии содержания натрия в субстрате на рост растений и накопление натрия в их тканях обсуждается в публикации Головатый, С. Е., Ковалевич, З. С., Лукашенко, Н. К. (2010). В статье Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., Davis, J. G. (2014) оценивается влияние высоких уровней обменного натрия на структуру почвы и рост растений в содовых почвах. В исследовании Wakeel, A. (2013) описано взаимодействие калия и натрия в почве и растениях в условиях засоленности и содичности. О влиянии содержания натрия в субстрате на рост растений и накопление натрия в их тканях обсуждается в публикации Santiago-Rosario, L. Y., Harms, K. E., Elderd, B. D., Hart, P. B., Dassanayake, M. (2021).

### ***Влияние натрия на качество урожая***

Это направление исследует, как содержание натрия в почве влияет на качество урожая сельскохозяйственных культур. Внимание уделяется взаимодействию натрия с калием и другим макроэлементам, а также тому, как это взаимодействие сказывается на урожайности и качестве плодов. В публикации Веремейчик Л. А. (2005) описано влияние взаимодействия натрия и калия на рост, урожайность и качество томатов. О влиянии низких и умеренных уровней натрия на рост рапса, люпина и пшеницы на почвах с дефицитом калия обсуждается в работе Персиковой Т. Ф., Радкевич, М. Л.

(2017). Влияние ирригации низкокачественной водой с высоким содержанием натрия на вымывание питательных веществ и качество подземных вод рассматривается в работе Кушнарева А. В., Безугловой О. С. (2023). В статье Idowu, M. K., Aduayi, E. A. (2007) описано влияние взаимодействия натрия и калия на рост, урожайность и качество томатов. О влиянии низких и умеренных уровней натрия на рост рапса, люпина и пшеницы на почвах с дефицитом калия обсуждается в работе Ma, Q., Bell, R. W. (2016). Влияние ирригации низкокачественной водой с высоким содержанием натрия на вымывание питательных веществ и качество подземных вод рассматривается в работе Jalali, M., Merrikhpour, H. (2008).

Приведённые публикации позволяют структурировать исследования по солям натрия в различных аспектах агрономии, включая их влияние на почвы, рост и развитие растений, а также на качество урожая.

## **1.5. Урожайность сельскохозяйственных культур на засоленных почвах**

Урожайность сельскохозяйственных культур в условиях аридного климата зависит от множества факторов, оценка влияния которых условно разделена на шесть тематических направлений.

### ***Влияние биомелиорантов на состояние почвы***

Исследования в этом направлении оценивают влияние различных биологических мелиорантов, таких как биопрепараты, органические удобрения и микроэлементы, на урожайность сельскохозяйственных культур и улучшение состояния почвы. Эти работы демонстрируют, как использование биомелиорантов способствует увеличению содержания гумуса, улучшению структуры почвы и снижению токсичности тяжёлых металлов, что в конечном итоге повышает продуктивность культур (Садовская, 2015); (Балгабеков, Алипбеков, Абильдаева. и др., 2024); (Азимов, Вердиева, 2020); (Hanc, Tlustoš, Száková, Balík, 2008); (Ali, 2023);

(Yakovleva, Danilov, Nikolaeva, 2020); (Pathariya, Dwivedi, Dwivedi,..., Sarvade, 2021), (Gong, Qin, Liu, Zhang, Liu, Luo (2020).

Эти работы демонстрируют, как использование биомелиорантов способствует увеличению содержания гумуса, улучшению структуры почвы и снижению токсичности тяжёлых металлов, что в конечном итоге повышает продуктивность культур.

### ***Влияние агротехнических приёмов на урожайность люцерны***

Это направление исследований посвящено влиянию агротехнических приёмов, направленных на увеличение урожайности люцерны. В него включены работы, анализирующие влияние удобрений, обработки почвы и использования мелиорантов на условия выращивания люцерны, её продуктивность и снижение засорённости (Соловьева, Воскобулова и др. 2012; 2013); (Алейникова, Дьяченко, 2015); (Приходько, Сергеев, Комсюкова, 2022); (Сидорова, Сидорова, 2017); (Якименко 2017); (Святюк, Гидулянов, Пономарева 2020); (Kumar, Kaniganti, Nima Kumari,..., 2022); (Azzawi, Gill, Fatehi,..., 2021); (Ali, Petropoulos, Selim, ..., 2021); (Abro, Adnan, Ahmed, ..., Parveen, 2022).

### ***Использование инокулянтов и биопрепаратов для повышения урожайности***

Это направление публикаций, посвящено применению инокулянтов и биопрепаратов для повышения урожайности и улучшения состояния почвы. Работы показывают, как инокуляция семян и использование биопрепаратов стимулируют рост растений, увеличивают биомассу и улучшают содержание питательных веществ в почве (Иванова, 2023); (Калин, Смаилова, Сураганов, 2023); (Calvo, Nelson, Kloepper, 2014); (Rouphael, Colla, 2020); (Berendsen, Pieterse, Bakker, 2012); (Bakker, Doornbos, Zamioudis, Berendsen, Pieterse, 2013), (Backer, Rokem, Ilangumaran,..., Smith, 2018).

### ***Засоление почв и его влияние на урожайность сельскохозяйственных культур***

Это направление включает исследования, которые рассматривают влияние засоления почв на урожайность различных культур. Авторы анализируют, как засоление ухудшает водный режим, нарушает физиологические процессы растений и снижает их продуктивность (Иванищев, Евграшкина и др. 2020); (Shrivastava, Kumar, 2015); (Cheeseman, 2016); (Munns, Tester, 2008); (Flowers, Colmer, 2008); (Acosta-Motos, Ortuño, Bernal-Vicente, ..., 2017).

### ***Агротехнические приёмы и управление водным режимом для повышения урожайности***

В этом направлении обсуждаются вопросы, связанные с оценкой почвенных факторов, таких как водный режим и способы обработки почвы, для повышения урожайности культур. Особое внимание уделяется влиянию влажности почвы и её распределения на продуктивность растений (Ермолаева, Зейлигер, 2021); (Куренкова, 2021); (Turner, 2004); (Rockström, Kaumbutho, Mwalley, ..., Damgaard-Larsen, 2009); (Hatfield, Sauer, Prueger, 2001); (Blum, 2009).

### ***Влияние почвенных факторов на урожайность сои и люцерны***

В этом тематическом направлении рассматриваются различные почвенные факторы, такие как плодородие, влажность, структура почвы и их влияние на урожайность сои и люцерны. Работы подчёркивают важность комплексного подхода к оценке почвенных условий для оптимизации выращивания этих культур и повышения их продуктивности (Рисник, 2019); (Tilman, Cassman, Matson, ..., Polasky, 2002).

## **1.6. Промывка засоленных почв**

### ***Технологии промывки засоленных почв***

Исследования в этом направлении фокусируются на технологиях промывки почв, направленных на удаление солей и восстановление плодородия. Внимание уделяется адаптации технологий к различным климатическим и почвенным условиям, а также анализу их эффективности через полевые и лабораторные исследования. Источники подчеркивают значимость применения инновационных методов, таких как использование новых технических устройств и материалов для промывки (Мустафаев, Абдешев, 2014); (Абдешев, Мустафаев, Козыкеева, 2016); (Кирейчева, Абдешев, Мустафаев, 2020). В статье Letey, J., Hoffman, G. J., Normans, Oster, J. D. (2011) обсуждаются методики оценки промывки солей из почвы и вымывания засоленности. Предлагаются новые подходы к оценке требований к промывке для поддержания уровня солей в пределах допустимых норм.

#### *Экологически безопасные методы мелиорации*

В этом направлении исследований акцентируется внимание на экологически безопасных технологиях промывки засоленных почв. Исследования направлены на минимизацию вреда для окружающей среды при мелиорации земель и разработку методов, сохраняющих структуру почвы и её биологическую активность. Включены работы, которые исследуют использование биоразлагаемых материалов, полимеров и органических добавок, а также экологические стандарты мелиоративных мероприятий (Мустафаев, Козыкеева, Абдешев, 2018); (Сейтказиева, Естаев, Сейтказиев, 2020); (Мустафаев, Кирейчева, Абдешев, 2015). Статья Rengasamy, P. (2002) рассматривает временную засоленность и её влияние на производство сельскохозяйственных культур в условиях засушливого земледелия. Описываются проблемы и ограничения почв, связанные с содовостью, и их преодоление с помощью мелиорации. В работе Minhas, P. S., Ramos, T. B., Ben-Gal, A., Pereira, L. S. (2020) рассматриваются методы управления водными ресурсами для минимизации воздействия

засоленности в орошаемом сельском хозяйстве. Описываются стратегии регулирования испарения и транспирации для повышения эффективности мелиорации.

### ***Физическое и математическое моделирование в мелиорации***

Исследования по указанной тематике направлены на применение моделирования для прогнозирования и оптимизации процессов промывки засоленных почв. Физические и математические модели помогают лучше понять процессы солепереноса, вымывания солей и улучшения физических свойств почвы. Эти исследования дают возможность более точно разрабатывать и адаптировать технологии промывки к различным почвенно-климатическим условиям (Касьянов, Исмаил, 2022); (Микаилсой, Шеин, 2020); (Вербицкий, Ариничева, 2020). В работе Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., Šejna, M. (2012) представлено программное обеспечение HYDRUS, предназначенное для моделирования движения воды, тепла и растворённых веществ в насыщенных и ненасыщенных зонах почвы. HYDRUS широко используется для исследования водного режима и солевого баланса в почвах при мелиорации. публикация Nomane, M., Dirksen, C., Feddes, R. A. (2002) описывает моделирование поглощения воды корнями растений в условиях неравномерного распределения солей в почве. Рассматриваются макроскопические функции для различных сценариев солевой нагрузки, что важно для управления водным и солевым режимом при мелиорации. В классической работе Richards, L. A. (1931) обсуждаются механизмы капиллярного транспорта жидкости в пористых средах. Эта статья остаётся важной для понимания процессов влагооборота в почвах и моделирования вымывания солей. В статье van Genuchten, M. T. (1980) предложено уравнение для расчёта гидравлической проводимости ненасыщенных почв, которое стало широко используемым инструментом для моделирования водного режима почв в процессе мелиорации.

### ***Применение инновационных материалов и мелиорантов***

Это направление охватывает исследования, связанные с использованием новых материалов и мелиорантов для улучшения эффективности промывки засоленных почв. Включены работы, исследующие применение биопрепаратов, полимеров и химических мелиорантов, которые ускоряют процесс вымывания солей и восстанавливают плодородие почвы. Эти инновационные подходы помогают значительно повысить продуктивность почв при меньших затратах и с минимальным воздействием на окружающую среду (Садиев, Широкова и др., 2021); (Худойназаров, Нормахаматов, Широкова, 2018); (Искендеров, 2015).

### ***Методология, техника и оборудование для промывки***

Источники этого направления посвящены исследованию и разработке техники и оборудования для промывки засоленных почв. Эти работы направлены на улучшение технических решений для эффективного удаления солей и повышения продуктивности почв. Рассматриваются как традиционные методы, так и инновационные технологии, способствующие улучшению водопроницаемости почв и сокращению времени на выполнение мелиоративных мероприятий (Абдешев, Мустафаев, Безбородов, 2017), (Жусупова, Умирзаков, Абдешев, 2020), (Жураев, Мусулманов, 2020); (Хажиев, Аллаяров, Мирнигматов, 2021); (Якимов, Голубенко, 2015), (Касьянов, Исмаил, 2021, 2022).

### ***Экономическая эффективность мелиоративных мероприятий***

В этом направлении работы представлены публикации, исследующие экономическую и экологическую эффективность мелиоративных мероприятий. Акцент делается на оценке затрат на промывку засоленных почв в различных почвенно-климатических условиях и сравнении традиционных и инновационных методов с точки зрения их рентабельности и устойчивого использования ресурсов (Широкова, Палуашова и др., 2023); (Алиев, 2013); (Мустафаев, Козыкеева, Абдешев, 2016).





## 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Краткая характеристика климата, рельефа и почвообразующих пород

Климат является важнейшим фактором почвообразования, оказывающим прямое влияние на стабильность почв, эрозию и опустынивание. Исследуемый район имеет полузасушливый климат с жарким и сухим летом, холодной зимой и малым количеством осадков. Весна и осень короткие, а лето и зима более выражены, с большими перепадами температур. Относительная влажность воздуха летом составляет 20-50%, а зимой - 60-80%. Заморозки наступают зимой и ранней весной, обычно не превышая 15 дней. Среднегодовое количество часов солнечной радиации составляет 3827 часов. Среднегодовое количество осадков варьируется от 90 до 135 мм, и осадки ограничены несколькими днями в году. Климатические условия играют ключевую роль в формировании и развитии почв, определяя ход их развития и состояние растительного покрова.

Рельеф влияет на почвообразование через влияние на климат и глубину залегания почвы. Регион состоит из двух типов геоморфологических групп: плоскогорья и степи, а также аллювиальные равнины. Плато и степи составляют самую большую площадь региона, имея плоскую и волнистую поверхность с холмами различной высоты. Плато и степи слегка наклонены к востоку и северо-востоку, с высотой от 200 до 700 метров.

Материнские породы занимают второе место по влиянию на почвообразование в регионе. В основном это современные четвертичные

отложения, покрывающие окраины бассейна реки Евфрат, и неогеновые породы, включая гипсовые породы, мергель и песчаник. Также имеются поверхностные песчаные отложения и песчаные дюны, образовавшиеся в результате ветров.

Растительность в регионе подвергалась деградации из-за деятельности человека, включающей выкорчёвывание кустарников, чрезмерный выпас скота и возделывание маргинальных участков. В результате уменьшилась роль растительности в стабилизации почвы и защите её от эрозии. В Дейр-эз-Зоре выделяют три растительные зоны:

- зона степных деревьев и кустарников, представленная Пистачиком атлантическим (*Pistacia atlantica*), Солянкой (*Haloxylon salicornicum*) и др.;
- зона степных кустарников, представленная Солянкой (*Salsola* sp.); Ковылём (*Stipa* sp.) и др.;
- зона степных трав представлена доминантами: Полынью (*Artemisia* sp.), Черкезом (*Haloxylon articulatum*), Анабазисом (*Anabasis* sp.).

## **2.2. Современное состояние и структура почвенного покрова**

Гранулометрический состав минеральной фракции почвы является фундаментальным свойством, тесно связанным с другими химическими, физическими и биологическими особенностями (Гаврилюк и др., 1986; Гилев и др., 2020; Бабичев и Сидоренко, 2023). Результаты механического состава показали, что почва имеет суглинисто-глинистую консистенцию. Некоторые физические характеристики образцов почвы для разной глубины приведены в таблице 2.1. Гидрофизические свойства являются одними из важнейших физических свойств почвы, поскольку они дают представление о вместимости поля, постоянной точке увядания и количестве доступной растению воды. Эти свойства также связаны с устойчивостью структуры почвы, которая влияет на гидродинамические факторы (Человечкова, 2012).



Таблица 2.1. Характеристика гранулометрического и солевого состава обследуемых образцов почвы

Глубина образца (см)	Процентное содержание, %					
	песок	супесь	глина	Ca CO <sub>3</sub>	Ca SO <sub>4</sub>	OM
0-25	34,61	27,85	36,54	22,98	2,73	0,89
25-50	33,95	29,91	36,14	18,0	3,01	0,40
50-75	35,72	30,17	34,11	18,0	4,42	0,14
75-100	34,53	28,97	36,50	17,9	9,10	0,10

Пористость почвы может быть использована для определения типа почвы. Некоторые гидрофизические характеристики образцов почвы приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Основная гидрофизическая характеристика почв

Параметры	Глубина образца (см.)			
	0-25	26-50	51-75	76-100
Влажность почвы %	18,1	20,3	23,70	24,9
Насыпная плотность (г. см <sup>-3</sup> )	1,29	1,31	1,34	1,40
Истинная плотность (г.см <sup>-3</sup> )	2,68	2,68	2,66	2,64
Пористость %	51,86	51,11	49,62	46,96
Вместимость поля %	30,0	35,60	39,13	43,81
Постоянная точка увядания %	23,44	27,41	29,52	34,70
Гигроскопическая влажность	12,11	13,95	14,68	16,52
Пористость, заполненная воздухом	21,86	15,10	10,49	9,11

Влажность почвы является важным атрибутом гидрологических процессов, включая сток осадков и эрозию, особенно в засушливых районах (Ториков и др., 2020). Она играет важную роль в переносе растворенных веществ и определении гидрометрических характеристик почв, а также является ключевым фактором роста растений и динамики экосистем (Умарова и др., 2006). Как показано в таблице 3, влажность почвы увеличивается с глубиной, достигая 24,9% на глубине 75-100 см.

Насыпная плотность почвы в поверхностном горизонте составляет 1,29 г/см<sup>3</sup> и увеличивается с глубиной до 1,40 г/см<sup>3</sup> на глубине 75-100 см. Обычно насыпная плотность в поверхностных слоях ниже из-за воздействия обработки почвы и содержания органического вещества. Глубокие слои почвы более компактны под воздействием веса вышележащих слоёв и отсутствием органического вещества, что увеличивает насыпную плотность.

Биологическая активность почвы и рост корней растений зависят от пористости почвы, которая влияет на гидравлические свойства почвы, такие как гидравлическая проводимость, влагоудержание и инфильтрация. Пористость почвы была наивысшей в верхних горизонтах (0-25 и 25-50 см) и снижалась с глубиной.

Таблица 2.3. Химическая характеристика обследуемого образца почвы

Глубина образца (см)	ЕСе (ds.m <sup>-1</sup> )	PH	М. экв на 100 почвы								SAR
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
0-25	8,2	7,9	23,0	11,3	63,4	1,4	40,1	2,4	0,6	56,1	15,31
25-50	7,6	7,8	21,7	11,5	60,0	1,2	31,5	2,2	0,2	63,8	14,75
50-75	6,7	7,7	18,9	10,9	47,8	0,8	24,4	2,1	0,2	50,7	13,75
75-100	6,2	7,1	16,9	9,4	40,1	0,7	21,2	1,8	0,2	44,3	11,05
Глубина образца (см)	Доступное количество (Мг, Кг)			Обменные катионы (М, экв на 100 почвы)				СЕС	ESP%		
	N	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>				
0-25	3,8	8,5	165	10,7	4,7	2,4	0,7	16,9	14,0		
25-50	4,7	3,67	153	11,3	4,6	1,9	0,3	16,3	11,8		
50-75	5,9	2,8	67	18,2	5,4	2,1	0,2	22,2	9,5		
75-100	6,7	2,9	87	11,9	6,0	2,5	0,22	23,3	7,6		

Гигроскопическая влага — это особый тип удерживаемой воды, присутствующий во всех мелкозернистых почвах, особенно глинистых, благодаря отрицательному поверхностному заряду глинистых минеральных компонентов. Значения гигроскопической влажности варьировали от 12,11% в поверхностном слое до 16,52% на глубине 75-100 см.

Химические свойства почвы включают pH, общее количество катионов и анионов, обменные катионы и доступные количества (NPK). Эти параметры определяют электропроводность почвы и степень её засоления.

Некоторые химические характеристики образцов почвы приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.4. Соотношение токсичных солей (%) по методике Почвенного института имени В.В. Докучаева

Глубина образца (см.)	Обменные катионы (М. экв на 100 почвы)		Соотношение токсичных солей, %
	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
0-25	4,69	2,37	0,47
25-50	4,58	1,92	0,43
50-75	5,43	2,10	0,50
75-100	5,96	2,52	0,56

Тип засоления в обследованной почве является смешанным, содовым и хлоридным, с наличием Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и NaHCO<sub>3</sub> (Исмаил, Касьянов, 2021).

По содержанию солей почва была классифицирована как средnezасоленная сульфатами и сильно засоленная хлоридами (табл. 2.4).

Поливная вода играет важную роль в появлении этих солей в почве, так как за последние два десятилетия солёность воды в реке Евфрат повысилась, что привело к переносу хлоридно-сульфатных и натриевых соединений в почву (Kattan and Najjar, 2004).

### 2.3. Деграционные процессы почв при агрогенной трансформации

Некоторые агрогенные преобразования почв оказывают положительное воздействие, однако большинство из них приводят к ухудшению продуктивности почв. Агроинженерная трансформация свойств почв важна для стабильности агроэкосистем и поддержания их плодородия. Результаты исследований (табл. 2.5) показывают, что сельскохозяйственные угодья обрабатываются и удобряются более интенсивно, чем соседние

пастбища, а возникающие различия обусловлены специфическими условиями пастбищ, где произрастают многолетние травы.

В полусухих условиях исследуемого района изменения гидрометрических характеристик играют ключевую роль в изменении свойств почвы. Процессы окисления и разложения органического вещества замедляются из-за недостатка влаги, что часто наблюдается на целинных землях по сравнению с сельскохозяйственными угодьями. Это приводит к снижению содержания органического вещества в сельскохозяйственных почвах из-за интенсивной минерализации, что негативно влияет на их текстуру.

Вымывание частиц глины оросительной водой из верхних слоёв способствует формированию почвенного горизонта с лёгкой текстурой на поверхности, что приводит к ветровому дрейфу - основному фактору деградации почв в засушливых районах Сирии. Как показано в таблице 2.5, значения рН поверхностного горизонта почв, подвергшихся агрогенному воздействию, выше (7,81), чем у пастбищных почв (7,1), что объясняется более высоким содержанием органического вещества в почвах пастбищ. Характеристика свидетельствует о том, что содержание органического вещества в почве на глубине 0-50 см на пастбищах выше, чем на сельскохозяйственных угодьях.

Таблица 2.5. Химическая и физическая характеристика проанализированного образца почвы

Параметры	Пастбища				Пахотные земли			
	Глубина образца (см)							
	0-25	25-50	50-75	75-100	0-25	25-50	50-75	75-100
ОМ	0,93	0,67	0,09	0,04	0,89	0,40	0,24	0,16
Насыпная плотность (г. см <sup>-3</sup> )	1,22	1,25	1,27	1,30	1,29	1,31	1,34	1,40
Истинная плотность	2,62	2,65		2,68				

Параметры	Пастбища				Пахотные земли			
	Глубина образца (см)							
	0-25	25-50	50-75	75-100	0-25	25-50	50-75	75-100
(г. см <sup>-3</sup> )			2,66		2,68	2,68	2,66	2,64
Пористость %	53,43	52,83	52,22	51,14	51,86	51,11	49,62	46,96
Кислотность	7,10	7,10	6,90	6,85	7,89	7,81	7,74	7,14
Электропроводность	7,43	7,36	6,30	6,11	8,21	7,65	6,75	6,20

Хотя органическое вещество на сельскохозяйственных угодьях распределяется более равномерно и на большую глубину, его общее количество остаётся ниже, чем в почвах пастбищ. Это объясняется выносом биомассы с полей во время сбора урожая и высокой скоростью разложения органического вещества в сельскохозяйственных почвах.

Скорость разложения органического вещества в сельскохозяйственных почвах выше из-за обработки почвы и внесения удобрений, что стимулирует рост микроорганизмов и высокую минерализацию. Орошение также способствует увеличению фильтрации продуктов разложения органических соединений в глубокие слои почвы, что объясняет незначительное увеличение содержания органического вещества в более глубоких слоях сельскохозяйственных почв.

Изменения в содержании органического вещества влияют на физические свойства почвы, в частности на насыпную плотность и общую пористость, особенно в верхнем слое (0-25 см). Основные значения насыпной плотности почвы связаны с генезисом почвообразующих отложений. Наличие органического вещества снижает насыпную плотность почвы, но интенсивная распашка и минерализация уменьшают количество органического вещества, увеличивая насыпную плотность.



Различия в насыпной плотности почвенного профиля обусловлены различными воздействиями. Насыпная плотность сельскохозяйственных почв в исследуемых горизонтах варьирует от 1,29 до 1,4 и выше по сравнению с пастбищными почвами. Мелкие глинистые частицы переносятся из поверхностных горизонтов при промывке дождевой и оросительной водой и накапливаются в более глубоких горизонтах почвы. В результате насыпная плотность почвы на поверхностном горизонте меньше (около 1,29), чем на горизонте 25-50 см (около 1,31), и достигает максимума (1,4) на горизонте 75-100 см.

Пористость почвы в слое 0-50 см также отражает влияние различий в землепользовании. Наибольшая общая пористость определена в пастбищных почвах (53,43), а наименьшая - в сельскохозяйственных (51,86). Содержание органического вещества в почвах влияет на насыпную плотность и общую пористость. Увеличение насыпной плотности сельскохозяйственной почвы приводит к снижению общей пористости и вместимости поля, что ограничивает доступность воды для растений по сравнению с пастбищами. Это свидетельствует о том, что содержание органического вещества и режим увлажнения в сельскохозяйственных почвах отличаются от условий естественного почвообразования, что указывает на необходимость рекультивации почвы для улучшения её состояния и поддержания плодородия.

### 3. ОБЪЕКТЫ, ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЁМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

#### 3.1. Объекты исследования

Объектом исследования является система "засолённые почвы Сирийской Арабской Республики - люцерна (*Medicago sativa*)". Эта система рассматривается в контексте мелиорации засоленных почв и повышения их продуктивности. Засоленные почвы характеризуются высоким содержанием растворимых солей, неблагоприятными агрофизическими свойствами и пониженным плодородием, что делает необходимым применение специальных агробиомелиоративных приёмов. Люцерна, выбранная в качестве растительного объекта, является важным кормовым растением, обладающим высокой адаптивностью к различным условиям произрастания, включая засоленные почвы. В рамках исследования особое внимание уделяется взаимодействию между почвой и растением, а также роли микробиологических факторов, в частности бактерий рода *Bacillus*, в улучшении состояния данной системы.

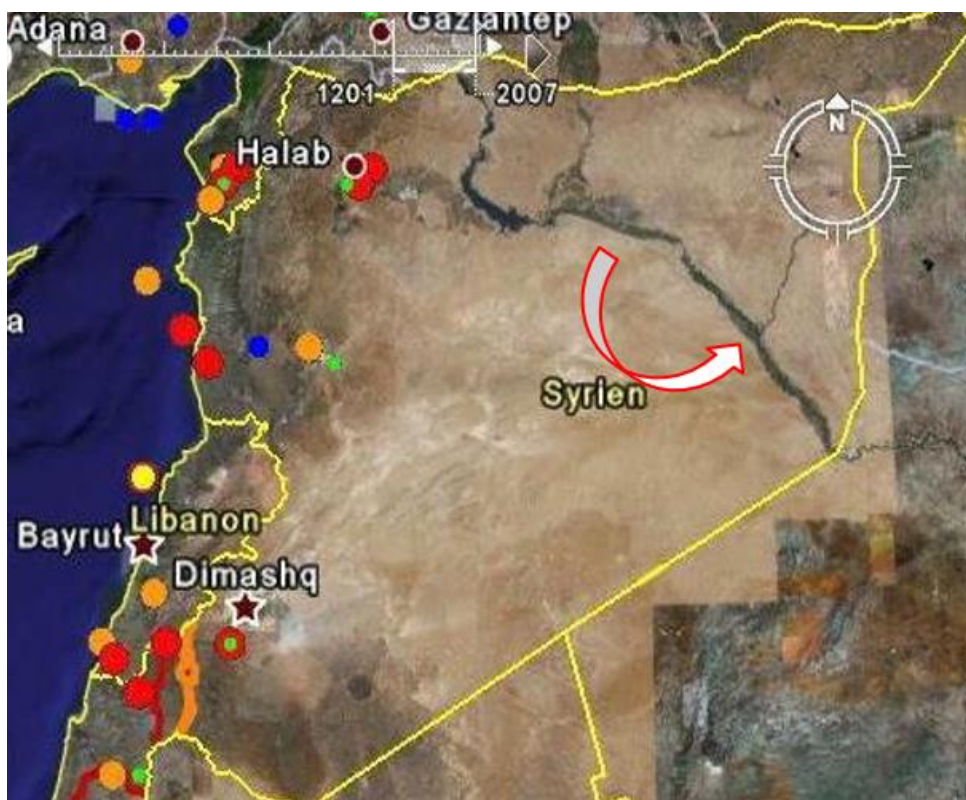
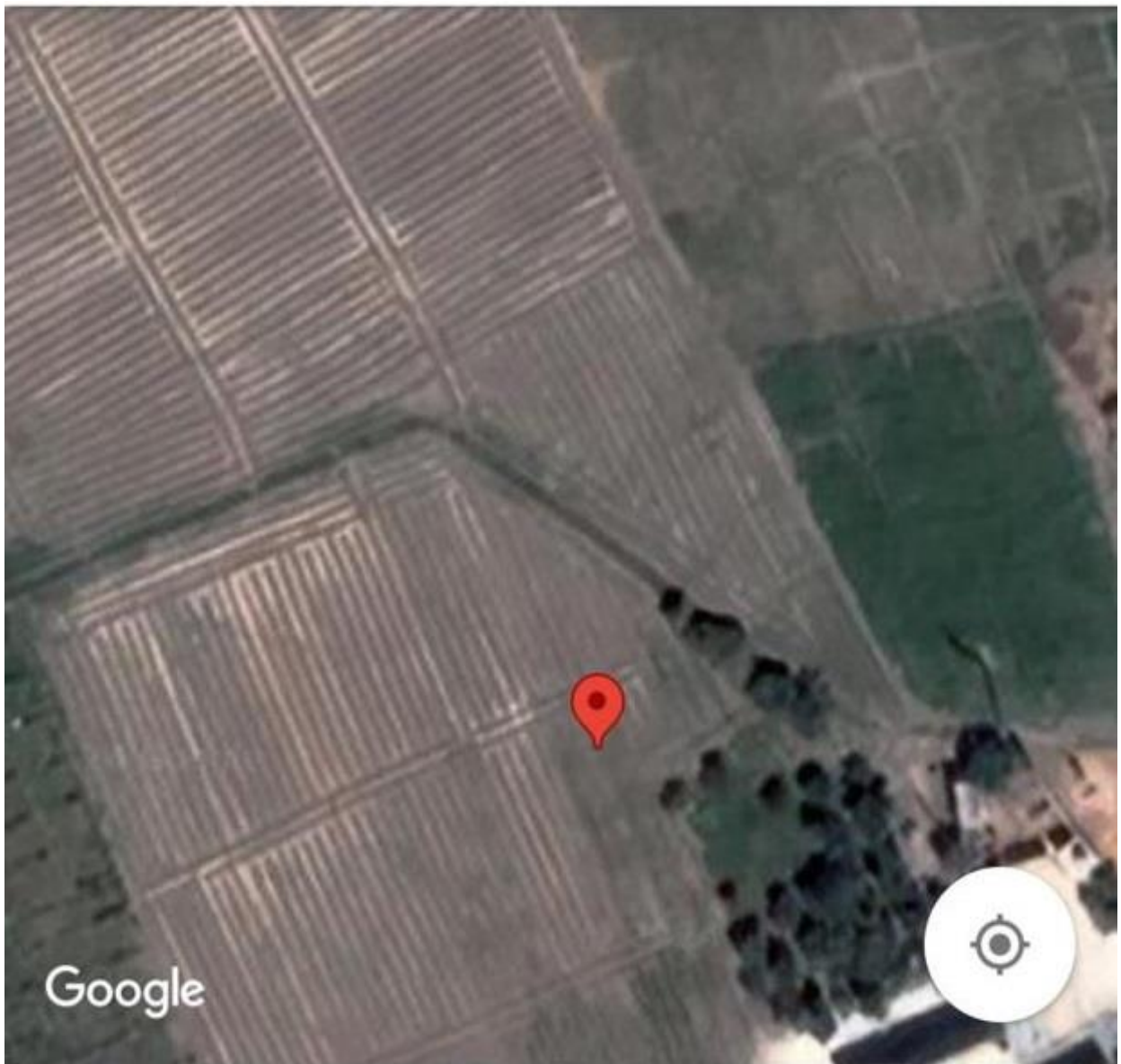


Рисунок 3.1. Место проведения исследований на карте Сирии

Место расположение опыта находится в районе Аль-Ашарра, примерно в 60 км к востоку от Дейр-эл-Зора, на высоте 203 м над уровнем моря (рис. 3.1, 3.2). Оно представляет собой современную террасную зону отложений реки Евфрат. Координаты места эксперимента: 34°55'13" N 40°33'34" E. Климат места эксперимента жаркий и сухой летом и холодный зимой, так как температура поднимается в июле до 45 градусов и падает в декабре и январе до минус нуля. Его ветер в основном западный, а иногда песчаный восточный.



### Рисунок 3.2. Место проведения опыта на космическом снимке

Среднегодовое количество осадков в месте проведения работ насчитывает 150 мм. Большая часть почв здесь слабо развита и классифицируется в качестве типичных Кальцигипсидов и типичных Гаплокальцидов в соответствии с почвенной таксономией Министерства сельского хозяйства США. Его почва колеблется от илисто-песчаной до илисто-глинистой.

Кальцигипсиды имеют накопление как карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и эквивалентов (кальциевый горизонт), так и гипса -  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гипсовый горизонт) в пределах 1 метра от поверхности почвы. Большинство этих почв песчаные и мало пригодны для орошаемого земледелия из-за высокого содержания в них гипса. Гаплокальциды имеют накопление карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и эквивалентов в пределах 1 метра от поверхности почвы (кальциевый горизонт). Текстура почв песчаная или суглинистая. Гаплокальциды имеют умеренный потенциал для орошаемого земледелия ограниченный песчаным характером почв.

#### ***Характеристика люцерны и микробиология семян***

Роль люцерны в восстановлении засоленных почв трудно переоценить. Люцерна (*Medicago sativa*) является важной кормовой культурой во многих странах мира. Она принадлежит к семейству бобовых (*Fabaceae*) и обладает способностью фиксировать азот из воздуха, благодаря чему люцерна богата белком. Помимо использования в кормах для животных, люцерна может участвовать в восстановлении засоленных щелочных почв (Yimin et al., 2016).

Стебель люцерны четырёхгранный, голый или опушённый, в верхней части сильно ветвящийся, высотой до 80 см. Стебли могут быть прямыми, широко кустистыми или лежащими. Корневище у люцерны мощное, толстое, глубоко залегающее. Листочки длиной 1-2 см и шириной 0,3-1 см,

продолговато-обратнояйцевидные. Цветоносы пазушные, длиннее листьев, с густыми, многоцветковыми кистями длиной 2-3 см. Цветки синевioletовые, чашечка трубчато-воронковидная, волосистая, длиной 0,5-0,6 см.

Роль микроорганизмов в ризосфере люцерны значительна. Поверхность семян люцерны содержит микроорганизмы, стимулирующие рост растений, такие как бактерии и дрожжи, которые обитают в ризосфере и способствуют фиксации азота и доступности фосфатов. Эпифитная микрофлора семян люцерны включает бактерии и дрожжи, которые поддерживают рост растений и защищают их от фитопатогенов.

Микроорганизмы, обитающие на поверхности растений и семян, называются эпифитами. Они зависят от вида растений и условий их произрастания. Метаболиты эпифитных микроорганизмов создают и поддерживают благоприятные условия для растений, взаимодействуя с ними по принципу антиген-антитело.

Типичные эпифиты, такие как дрожжи, молочнокислые бактерии и бациллы, существуют на растениях как олиготрофы, питающиеся небольшими количествами питательных веществ. Они устойчивы к фитонцидам, солнечной радиации и колебаниям влажности и температуры. Эти способности позволяют эпифитам заселять различные органы растений, включая семена и корни.

Эпифиты, не причиняя вреда растениям, вырабатывают биологически активные вещества, такие как витамины и ауксины, а также антибиотики, подавляющие фитопатогенные микроорганизмы. Некоторые бактерии, обитающие у корней, могут переходить на наземные части растений.

На поверхности семян люцерны обнаружены дрожжи рода *Candida* (рис. 3.3), которые являются крупными одноклеточными грибами, образующими колонии грязно-белого цвета (рис. 3.4).

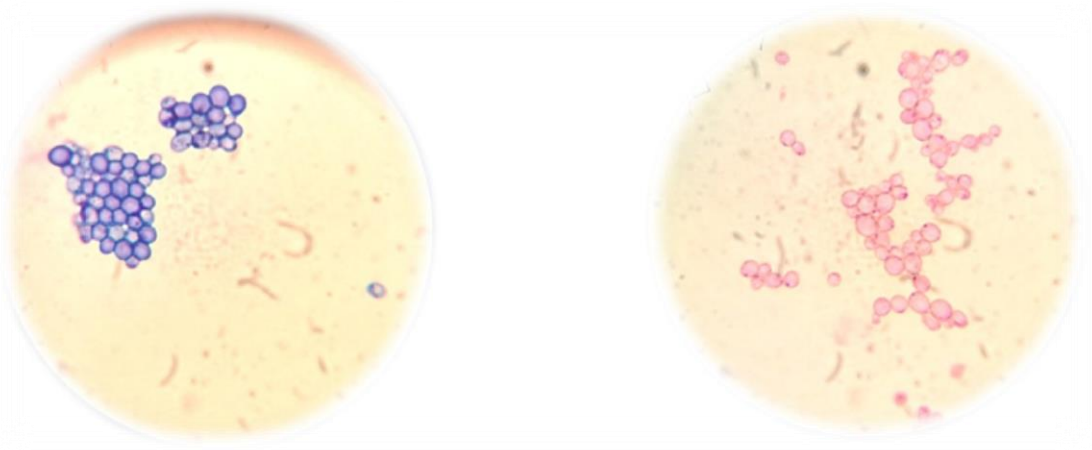


Рисунок 3.3. Дрожжи рода *Candida*

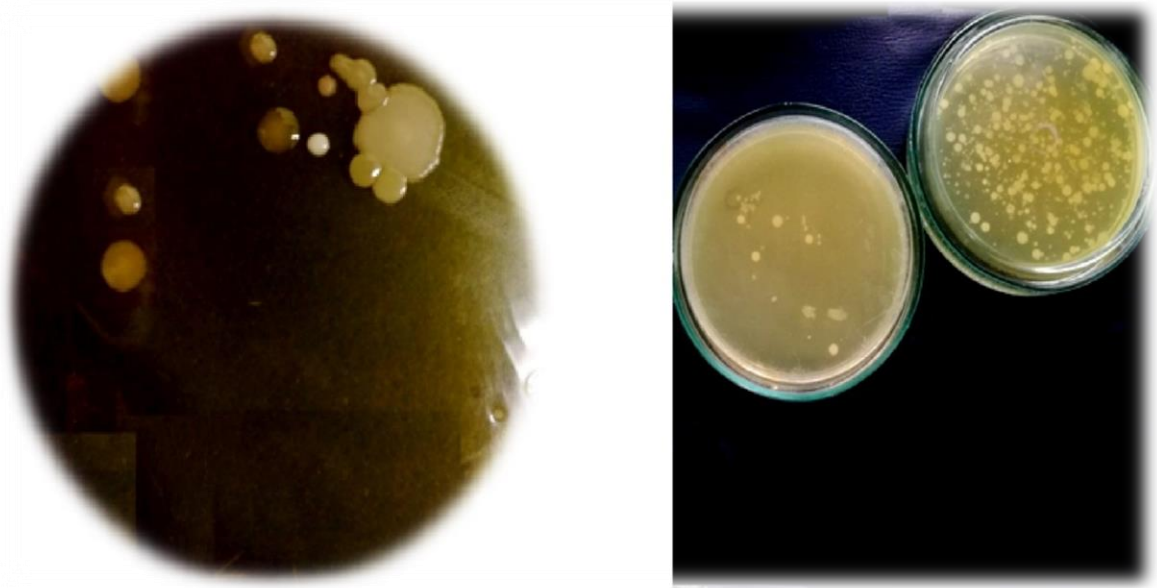


Рисунок 3.4. Колонии *Candida albicans*

Эти дрожжи адаптированы к обитанию на поверхности растений и не способны к спиртовому брожению (Бабьева, Чернов, 2004). Дрожжи широко распространены в почвах разных климатических зон и играют важную роль в природных процессах (Абдуллабекова и др., 2021). Они являются естественной частью микрофлоры почвы и синтезируют экзополисахариды,

что зависит от внешних факторов: питательных веществ, кислотности, температуры и аэрации.

Таким образом, обнаружение дрожжей на семенах люцерны указывает на их распространённость и возможное влияние на ризосферу растений. Эти микроорганизмы играют важную роль в поддержании здоровья растений и почвы, способствуя их устойчивости к стрессам и повышению продуктивности.

### **3.2. Программа исследования**

1. Оценка влияния микроорганизмов на микробиологическую активность засоленных почв и урожайность:

- микробиологическая активность засоленных почв;
- рекомендации по инокуляции семян люцерны с использованием микробиологических препаратов;
- влияние микробиологической активности на урожайность люцерны.

2. Оценка влияния биомелиорантов на электропроводность, кислотность и концентрацию солей по 25 - сантиметровым слоям почвы до глубины 100 см:

- статистический анализ динамики изменения электропроводности и кислотности почв;
- статистический анализ динамики изменения концентрации солей.  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  в почве.

3. Оценка влияния биологических мелиорантов на динамику урожайности люцерны по укосам и годам выращивания:

- статистический анализ 3-х летней динамики увеличения общей урожайности люцерны под влиянием биомелиорантов;
- статистический анализ динамики структуры урожайности по укосами и годам выращивания люцерны;

4. Обоснование сезонной и возрастной динамики водопотребления и режима орошения люцерны:

- расчет суммарного испарения для оптимизации водопотребления;
- регулирование водного баланса и режима орошения;
- моделирование сезонной динамики нормирования полива по годам выращивания люцерны.

5. Усовершенствование лабораторной установки для физического моделирования промывки засоленных почв:

- апробирование установки для промывки почвы;
- методические указания и инструкция по использованию установки.

### **3.3. Методология исследования и применяемые методы**

**Методология исследования** основана на комплексном подходе, включающем полевые, лабораторные и аналитические методы для оценки влияния биомелиорантов на состояние засоленных почв и урожайность люцерны. В исследовании использовались физические и микробиологические эксперименты, а также статистический анализ данных, что обеспечило высокую степень точности и достоверности полученных результатов.

Исследования включали, микробиологические исследования активности микроорганизмов на засоленных почвах, а также полевые опыты для изучения трёхлетней динамики почвенных характеристик и урожайности люцерны по сезонам и годам выращивания культуры, разработка конструкции установки для моделирования процессов промывки почв.

**Методы исследования** были разделены на следующие направления:

1. Микробиологические исследования



- использование методов культивирования микроорганизмов для оценки микробиологической активности, засоленных почв;

- применение метода «Стёкол обрастания» для оценки микробиоты почвы.

## 2. Агромелиоративные исследования

- методика закладки полевых опытов по оценке трёхлетней динамики урожайности люцерны при использовании фитомелиоранта – компоста из люцерны и биопрепаратов на основе штаммов *Bacillus*;

- анализ глубинной динамики изменения электропроводности, кислотности почвы и концентрации солей  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  в зависимости от вида биомелиоранта;

- расчёт суммарного испарения (эвапотранспирации) для оптимизации водопотребления люцерны;

- расчёт водного баланса и режима орошения люцерны по сезонам и годам выращивания культуры

## 3. Статистические методы анализа данных

- двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями динамики водно-физических свойств, концентрации солей по глубине залегания почвы и 3-летней урожайности люцерны в зависимости от вариантов вносимых биомелиорантов

- построение множественных регрессий 3-летней динамики параметров почвы и общей урожайности люцерны с учётом качественных характеристик биомелиорантов;

- построение множественных регрессий структуры урожайности по укосам и 3-летней динамики люцерны с учётом качественных характеристик биомелиорантов;

- построение множественных регрессий сезонной динамики нормирования полива по годам выращивания люцерны.

4. Апробирование лабораторной установки для моделирования процессов промывки засоленных почв и оценки эффективности биомелиорантов в снижении содержания солей:

- проведение фильтрационных исследований и градиентных измерений перемещения солей в почве с использованием лабораторной установки.

В ходе исследования использовались общепринятые методики планирования полевых опытов (Доспехов, 1985). Эксперимент был организован полностью рандомизированным способом с тремя вариантами внесения биомелиорантов и контрольным вариантом. Каждый вариант эксперимента имел 3-кратную повторность. Всего было заложено 7 полевых опытов, связанных с трёхлетней динамикой водно-физических параметров электропроводности (ЕСе), кислотности (рН) и концентрации солей ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) на разных глубинах почвы (0-25, 26-50, 51-75, 76-100 см) и урожайности люцерны (т/га).

Достоверность полученных результатов подтверждена использованием современных методов анализа данных (Герасимов, Хлюстов, 2001), в частности, двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями с критериями оценки различий между вариантами опыта по F-критерию Фишера и наименьшей существенной разницы  $НСР_{05}$  по Тьюки. Аппроксимация динамики урожайности и почвенных показателей была получена в результате множественного регрессионного анализа с включением в модели фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 2017), кодирующих варианты полевого опыта. Для расчёта параметров статистических моделей использовались программные продукты STADIA и SPSS в среде MS Excel.

### **3.3.1. Схема полевого опыта и подготовка образцов почвы**

Эксперимент проводился на сильно засоленных щелочных почвах с поверхностным слоем, имеющим электропроводность 8,21 ds.m-1 и отношение карбонатного обмена (САР) 15,311. Почва в месте эксперимента имеет суглинисто-глинистую консистенцию.

Эксперимент был организован полностью рандомизированным образом с тремя вариантами обработки и контрольным вариантом. Каждый вариант опыта имел три повторности, что обеспечивало высокую точность и достоверность полученных данных.

Агромелиоративная часть исследования, связанная с урожайностью люцерны, была организована с целью проведения двухфакторного опыта с повторениями по годам выращивания трёхлетней люцерны. Заложенный опыт был полностью рандомизирован по трём вариантам и контролю в соответствии с Методикой полевого опыта (Доспехов, 1985).

Каждый вариант имел трёхкратную повторность. Было подготовлено три участка земли площадью 6 квадратных метра каждый, со сторонами 2 на 3 м. Компост и биопрепараты в качестве биокатализатора добавляли в почву перед вспашкой из расчёта 2 кг компоста на 1 квадратный метр почвы. После этого ручным способом высевали люцерну на глубину 5 см из расчёта 30-35 кг семян на гектар. Использовался способ орошения напуском по полосам. Полив проводили после посева ежедневно в течение 10 дней слоем 10 мм, а затем один раз в 20 дней слоем 50-80 миллиметров. Схема полевого опыта и внешний вид делянок показаны на рисунках 3.5 и 3.6.

П1				
	К	КТ	БП	КТ + БП
П2				
	КТ + БП	БП	К	КТ
П3				
	КТ	К	КТ + БП	БП

П1, П2, П3 – повторности

К - контроль, КТ – компост, БП – биопрепарат, КТ+БП – компост и биопрепарат

Рисунок 3.5. Схема полевого опыта при рандомизированном размещении вариантов в 3-кратной повторности

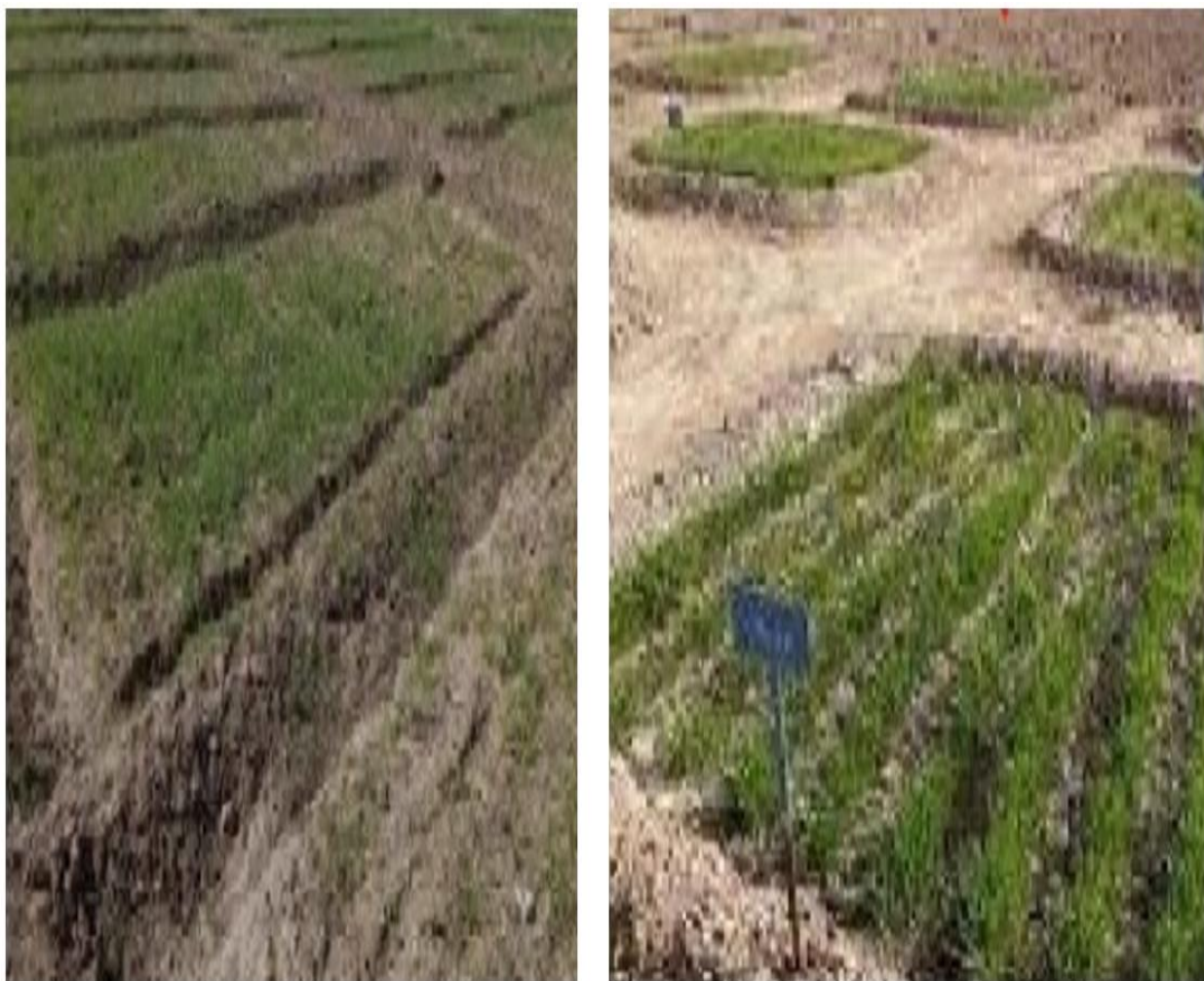


Рисунок 3.6. Внешний вид постановки опыта в натуре

### ***Подготовка образцов почвы для анализа***

Образцы почвы для анализа были взяты до добавления компоста и посадки люцерны на территории Дейр-эз-Зора в Сирии. Во время вегетационного периода люцерны для анализа отбирались пробы почвы с помощью почвенного бура диаметром 4 см и высотой 125 см на глубинах 0-25 см, 25-50 см, 50-75 см и 75-100 см. Точки для отбора образцов почвы на участках, представляющих варианты полевого опыта, были выбраны случайным образом. В каждой точке было отобрано по 5 образцов почвы на четырёх глубинах почвенного профиля (рис. 3.7).

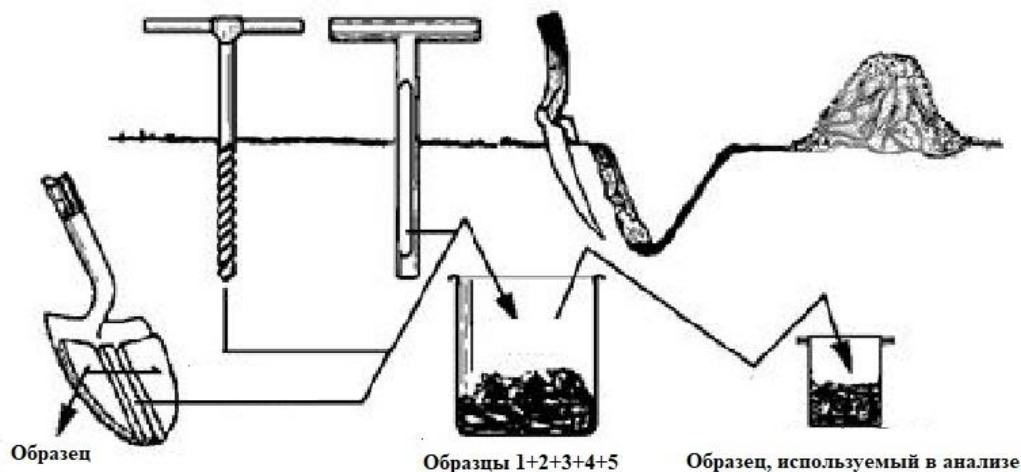


Рисунок 3.7. Схема формирования образца почвы, используемого в анализе

После удаления поверхностных органических примесей и мелких корней из свежих образцов определяли содержание воды в почве методом печной сушки. Оставшиеся подвыборки почвы высушивали на воздухе и просеивали через сито диаметром 2 мм, а затем пять повторов смешивали в один образец для получения насыщенного экстракта почвенной суспензии по методу Ричарда.

Отобранные образцы очищали от поверхностных органических материалов и мелких корней. Содержание воды в почве определяли методом печной сушки. Затем подвыборки высушивали на воздухе, просеивали через сито с диаметром 2 мм и смешивали пять повторов в один образец для получения насыщенного экстракта почвы по методу Ричарда.

Микробиологическая часть эксперимента проводилась с учётом методических указаний Емцева В.Т., Мишустина Е.Н. (2016); Звягинцева Д.Г., Асеевой И.В., Бабьевой И.П., Мирчинк Т.Г. (1980).

### **3.3.2. Микробиологические методы изучения засоленных почв**

#### ***Метод стёкол обрастания (по Н.Г. Холодному)***

Условия искусственных питательных сред, используемых в микробиологических исследованиях, неизбежно отличаются от естественных условий обитания микроорганизмов в почве. Поэтому результаты, полученные на питательных средах, не всегда точно отражают реальное состояние почвенных микроорганизмов. В связи с этим большое значение приобретают методы, позволяющие наблюдать за развитием микроорганизмов непосредственно в почве.

Метод стёкол обрастания, предложенный академиком Н.Г. Холодным, пользуется большим признанием в почвенной микробиологии. Этот метод, используемый нами в исследованиях, позволяет вести наблюдения за микроорганизмами в естественных условиях почвы с минимальными изменениями.

#### ***Процедура метода***

1. Вымытые и обезжиренные предметные стекла помещают в почву на 5-7 дней.

2. На рабочей поверхности стекла, соприкасаемой с почвой, оседают мелкие органические и минеральные частицы, а также микроорганизмы, образуя характерные микропейзажи.

3. После извлечения стекла из почвы, его высушивают, фиксируют на пламени горелки, охлаждают и помещают в воду для удаления почвенных частиц.

4. Затем стекло окрашивают карболовым эритрозином и подсушивают в течение 20-30 минут.

Микроскопическое изучение окрашенных стёкол позволяет оценить естественное формирование почвенной микрофлоры. Можно наблюдать распределение различных микроорганизмов, формы и размеры колоний, а

также количественное соотношение морфологически различных групп микробиоценоза. Этот метод позволяет выделить доминирующие формы микроорганизмов.

### ***Достоинства и недостатки метода***

Основное преимущество метода стёкол обрастания заключается в том, что наблюдение за развитием микроорганизмов ведётся непосредственно в самой почве, что минимизирует изменения условий их существования. Однако, как и любой метод, он имеет свои недостатки. Процесс формирования микрофлоры на стекле происходит медленно и обусловлен деятельностью экзоферментов. Качественный состав микробиоты зависит от образца почвы, её влажности и условий опыта.

Метод стёкол обрастания позволяет наблюдать формирование микрофлоры вокруг почвенных частиц и органического вещества, представленных в виде колоний или монокультур бактерий. Это даёт возможность судить о естественных условиях обитания микроорганизмов, их количественном составе и распределении в почве.

Таким образом, метод стёкол обрастания является эффективным инструментом для изучения почвенных микроорганизмов в их естественной среде, несмотря на некоторые ограничения и недостатки.

### ***Метод прямого учёта численности бактерий в почве***

Метод, позволяющий проводить наблюдения за развитием микроорганизмов непосредственно в почве (по Н.Г. Холодному), основывается на использовании стёкол обрастания. На поверхности стекла поселяются различные микроорганизмы, образующие характерные микропейзажи. После окраски препарата карболовым эритрозинном можно судить о распределении различных представителей микробиоты в естественной среде, о формах и размерах колоний, образуемых ими в почве, и о количественном соотношении морфологически различных групп микроорганизмов.



### ***Преимущества и недостатки метода***

Ценность метода стёкол обрастания заключается в том, что наблюдение ведётся непосредственно в почве при минимальном изменении условий существования микроорганизмов. В сухой почве учитываются лишь активные микроорганизмы, что позволяет получить представление о составе микробных ассоциаций и их активности. Однако плесени и актиномицеты реагируют на воздействие корневой системы меньше, чем бактерии, которые активно взаимодействуют с почвенными резервами ионов.

Для приготовления препарата стекла вынимают, высушивают, фиксируют на пламени, остужают и помещают в ванночку с водой для удаления почвенных частиц. Затем стекло подсушивают и окрашивают карболовым эритрозинном. При микроскопировании оценивают интенсивность развития микроорганизмов, их качественный состав и количественное соотношение морфологически различных групп.

Этот метод не подходит для количественного учёта микроорганизмов, но он даёт относительное представление о богатстве почвы микроорганизмами. Он также позволяет наблюдать за микробиологическими процессами в почве при увлажнении образцов и их инкубации при 25-27°C в течение 24 часов.

### ***Направленность микробиологических процессов***

Прямое микроскопирование образцов почвы после увлажнения и инкубации активизирует развитие бактерий. На стекле можно визуально оценить зоны максимальной и минимальной активности микроорганизмов. Это даёт возможность сравнивать заселённость различных типов почв и их плодородность.

Метод Холодного – Росси позволяет делать ценные наблюдения над засоленной почвой несмотря на то, что он даёт лишь статическое отображение жизни почвы. Для более глубокого понимания поведения

микробных сообществ необходимо использовать дополнительные методы, включая молекулярно-биологические, которые позволяют значительно расширить спектр диагностируемых микроорганизмов.

Таким образом, метод прямого учёта численности бактерий в почве предоставляет ценные данные о составе и активности микробиоты в естественных условиях. Он полезен для оценки микробиологических процессов и состояния почвы, а также для изучения влияния различных мелиоративных мероприятий на почвенную микрофлору.

***Метод определения качественного состава микроорганизмов почвы  
(по Р. Коху)***

Определение качественного состава почвенных микроорганизмов или микроорганизмов почвы одна из самых трудных бактериологических задач, требующая большого опыта. И не всегда решается с надлежащей уверенностью, поскольку велика изменчивость морфологических признаков бактерий в зависимости от условий внешней среды. Полиморфизм является одним из характерных признаков, например *Proteus vulgaris*. Подобная изменчивость свойственна и многим другим видам, хотя в меньшей степени.

Ниже мы приведём признаки, которыми обычно пользуются для определения вида микробов: морфологические признаки клетки (молодой и зрелой культуры), рост микроба на плотной среде (МПА), формирование колоний, специальное окрашивание микроба по Граму; форма клетки и спорообразование, способность продуцировать пигмент и др.

Микроорганизм, выращиваемый на твёрдых питательных средах (мясопептонный агар – МПА), образуют хорошо видимые невооружённым глазом колонии, размножившихся из одной или нескольких микробных клеток. Каждому виду микроорганизмов свойственна определённая величина (в мм), форма, консистенция, окраска и структура колоний. Эти культурные признаки используют при диагностике бактерий.

Поверхность колонии микробов может быть плоской, выпуклой, вогнутой, складчатой зернистой и т.д. Колонии лежат на поверхности или вырастают вглубь плотной питательной среды. Края колонии могут быть ровными, рваные, волнистые, лучистые, зубчатые, «изъеденные», локонообразные. По консистенции колонии бывают слизистыми, рыхлыми, рассыпчатыми, вязкими. Размеры колонии: от 10 мм и более в диаметре – крупная, от 1 – 10 мм – средняя, 1 мм – точечная; Профиль колоний: конусовидный, плоский, выпуклый (рис. 3.8).

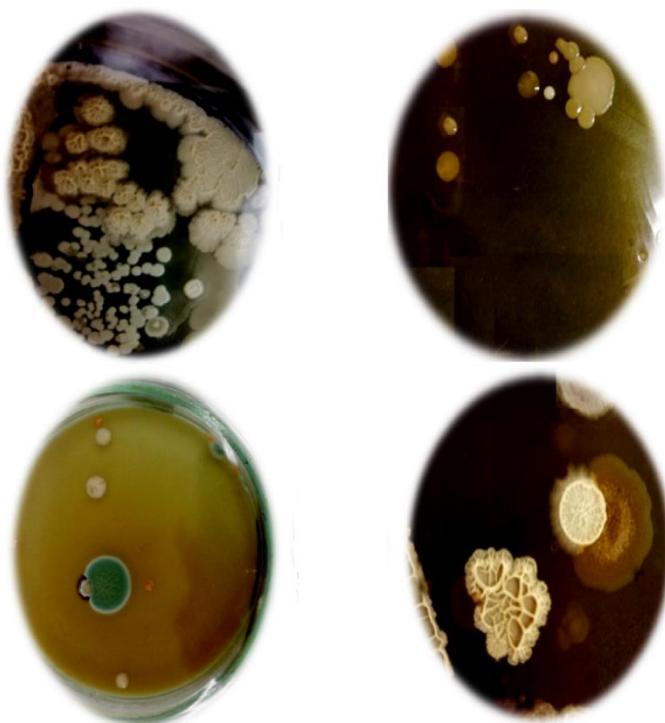


Рисунок 3.8. Колонии микроорганизмов на поверхности питательной среды

Из каждой группы колоний готовят препарат и определяют, к какому роду они относятся. В отдельных случаях можно установить и их видовую принадлежность.

Форма колоний зависит от взаимного расположения клеток после их деления, подвижности (скользящие передвижения) колонии имеют гладкую поверхность.

Бактерии, имеющие капсулу, как правило, образуют слизистые колонии в виде вязкой прозрачной массы. У спорообразующих бацилл колонии имеют матово – серый оттенок и не прозрачны (рис. 3.9).

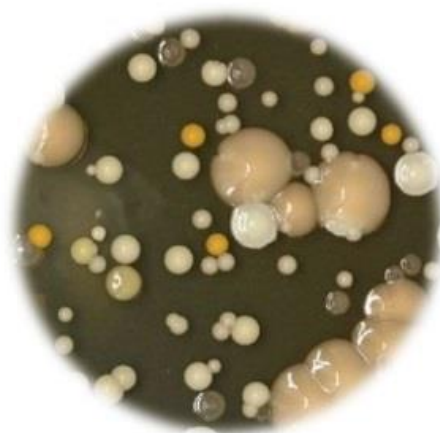


Рисунок 3.9. Колонии бактерий

Таким образом, описанные культуральные признаки используются для определения вида бактерий. Для выращивания большинства микробов обычно применяют мясопептонную среду. Признаки роста на них являются наиболее распространёнными дифференциальными отличиями микробов.

#### ***Метод разведения суспензии для учёта численности бактерий***

Следует упомянуть, что существует несколько вариантов метода непосредственного подсчёта выросших колоний почвенных микроорганизмов. В наших экспериментах использовали метод предельных разведений (рис. 3.10). Берётся последовательный ряд десятичных разведений из испытуемого материала и помещается на поверхность плотной питательной среды.

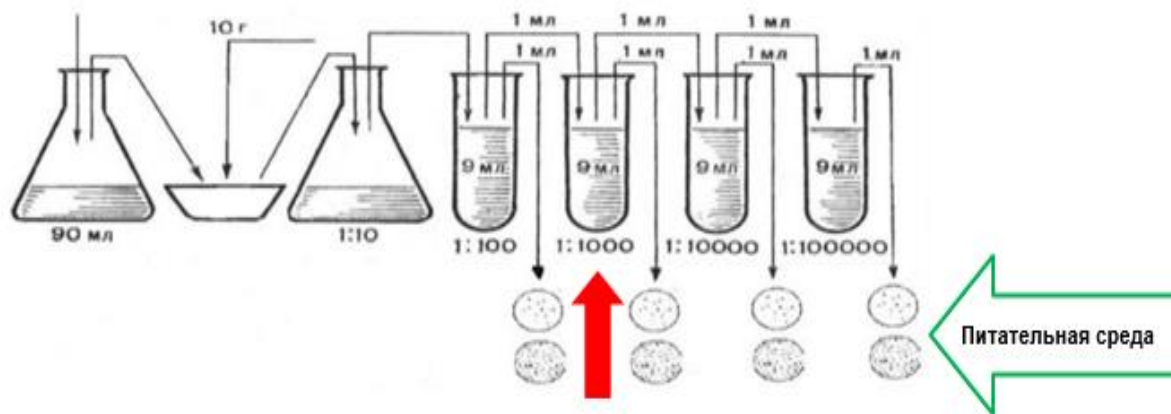


Рис. 3.10. Подготовка к анализу посева почвы методом посева

### *Метод сложной окраски бактерий и спор*

Образец почвы обсеменён в основном бациллярными формами бактерий. Простым исследованием неокрашенного препарата можно убедиться в присутствии спор в виде, сильно преломляющих свет, однообразных по величине и по форме, круглых или эллипсовидных телец внутри клеток. При обработке обычными анилиновыми красками тельца эти остаются неокрашенными. Для их окраски прибегают к обработке препарата сильнодействующими растворами красителей. Стараясь достигнуть контрастной окраски спор и плазмы клетки.

Споры, благодаря своим особым свойствам, практически не вступают в физико-химические реакции с различными веществами, в том числе и с красителями. Поэтому, как сказано выше, при обычных способах окрашивания они не прокрашиваются, оставаясь совершенно бесцветными внутри окрасившихся вегетативных тел бактерий, что позволяет обнаружить расположение, величину и форму споры. Для того же, чтобы споры прокрасились, требуется специальная обработка мазка или в виде предварительного прогревания в кислоте для размягчения оболочки, или «протравливания» и воздействия концентрированных растворов красок при высокой температуре. В этом случае споры настолько сильно адсорбируют

краситель, что не обесцвечиваются при последующей обработке кислотой, в то время как вегетативные тела обесцвечиваются и становятся видимыми при дополнительном окрашивании красителем.

Если споры плохо красятся, то препарат предварительно обрабатывают - сначала хлороформом (1-2 мин), а затем в течение 10 минут 5-ти процентным раствором хромовой кислоты и лишь тогда приступают к окраске.

Необходимо отметить, что все способы окраски спор основаны на едином принципе, где сначала споры протравливают различными веществами (хромовой, соляной, серной, уксусной кислотами, аммиаком, едким натром или перекисью водорода). Затем окрашивают клетку со спорой при нагревании и, наконец, обесцвечивают цитоплазму и дополнительно окрашивают её контрастным красителем. Причём, сложные или дифференцированные, способы окраски бактерий основаны на особенностях физико-химического строения микробной клетки. Наибольшее практическое значение имеет окраска по грамму.

### **3.3.3. Приготовление микробиологических удобрений**

Для получения микробиологического удобрения методами, принятыми в почвенной микробиологии, с использованием прямой микроскопии были выделены различные роды бактерий *Bacillus* (*Bacillus megaterium*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus subtilis*). Было определено количество микроорганизмов в почве традиционными методами посева, принятыми в почвенной микробиологии.

Для культивирования бактерий использовали питательные среды (Nutrient Broth), где 1 л предыдущей питательной среды помещают в 2-литровую коническую колбу с соблюдением правил изоляции и стерилизации, а в питательную среду вводят один из видов бактерий

*Bacillus*, выделенных из засоленной почвы, взятой из Дейр-эз-Зора в Сирии. Затем их помещают в инкубатор при температуре 28 градусов Цельсия на три дня. Предыдущий процесс повторяется с каждым видом бактерий *Bacillus* (*Bacillus megaterium*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus subtilis*).

Синтез микробиологического удобрения готовили путём смешивания трёх сред, в каждую из которых вводили определенный вид бактерий *Bacillus* (*Bacillus megaterium*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus subtilis*) (рис. 3.11).



Колонии бактерий *Bacillus megaterium*

Колонии бактерий *Bacillus subtilis*

Колонии бактерий *Bacillus mesentericus*



Рисунок 3.11. Колонии бактерий *Bacillus*

Соотношение смешивания, используемое при приготовлении микробного удобрения, используемого в эксперименте, составляет 1:1:1. Полученное микробное удобрение разбавляют использованной

оросительной водой (1 л микробного удобрения на 10 л оросительной воды), химический состав которой проанализировали (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Химическая характеристика используемой воды для орошения

SAR	(М. экв / Л)						Ph	ECe (ds. m <sup>-1</sup> )
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
2,401	3,4	2,01	3,95	3,3	2,99	3,5	7,73	0,81

После этого компост обрабатывают полученным микробным удобрением из расчёта 1 л микробного удобрения на 2 кг компоста.

### 3.3.4. Методики эколого-мелиоративной оценки почв

#### *Физико-химический анализ почвы*

В исследовании применялся ареометрический метод для механического анализа почвы. Анализ включал следующие операции:

1. В мензурку помещали 50 г мелкой почвы, добавляли 125 мл раствора гексаметафосфата натрия (40 г/л) в качестве диспергатора, перемешивали до полного увлажнения почвы и оставляли на 10 минут.

2. В контрольный цилиндр добавляли 125 мл диспергатора, доливали дистиллированной водой до отметки, встряхивали, вставляли ареометр и термометр, фиксировали нулевую поправку и температуру.

3. Почвенную суспензию переносили в смеситель, доливали дистиллированной водой до половины объёма, перемешивали в течение двух минут.

4. Перемещали суспензию в седиментационный цилиндр, добавляли воду до необходимого уровня, закрывали крышкой, переворачивали 30 раз в течение минуты, затем устанавливали вертикально и записывали время.

5. После снятия крышки вставляли ареометр для измерения, осторожно перемешивали для удаления частиц.



Показания ареометра фиксировались через 2 часа и корректировались по температуре по формуле:  $СПА = (СП - 19,4) \times 0,3$

где: СПА - скорректированное показание ареометра, СП - исходное показание

Пропорции компонентов почвы рассчитывали на основе следующих соотношений:

$$(\text{Глина} + \text{Супесь}) \% = СПА_1 \times (100 / M)$$

где: СПА<sub>1</sub> – первое скорректированное показание ареометра; М – масса образца почвы (г)

$$(\text{Глина}) \% = СПА_2 \times (100 / M)$$

где: СПА<sub>2</sub> – второе скорректированное показание ареометра; М – масса образца почвы (г)

Соотношение песка и супесь было рассчитано следующим образом:

$$(\text{Супесь}) \% = [(\text{Глина} + \text{Супесь}) \% - (\text{Глина}) \%]$$

$$(\text{Песок}) \% = 100 - (\text{Глина} + \text{Супесь})$$

После этого тип почвы на основе текстурного треугольника определялся как супесь глинистая консистенция.

Засоление почвы, обменные катионы и РН насыщенного пастообразного экстракта по методу Ричарда. Насыщенную пасту по методу Ричарда готовили следующим образом. Образцы почвы высушивали на воздухе, измельчали и гомогенизировали, пропуская через сито диаметром 2 мм. Затем 300 г почвы насыпали в мензурки объёмом 500 мл и медленно добавляли дистиллированную воду, помешивая и помешивая лопаточкой до получения насыщенной пасты. Насыщенная паста оставались в течение 1-2 часов, а затем снова проверялись критерии насыщения. Как только насыщение будет достигнуто, взвешивался контейнер вместе с его содержимым, чтобы записать увеличение веса и узнать количество добавленной воды. Фильтрационный раствор готовили с использованием

фильтровальной бумаги, смоченной дистиллированной (деионизированной) водой.

Затем определяли электропроводность насыщенного пастообразного экстракта (ЕСе) с помощью кондуктометра при температуре 25 °С. С помощью стеклянного электрода была определена реакция почвенной среды (рН).

Метод определения плотности в бутылке была использована для определения истинной плотности образцов почвы. Для расчёта насыпной плотности необходимо было использовать цилиндрическую фрезу, где приводная нагрузка многократно поднимается и опускается, чтобы загнать пробоотборник в грунт.



Рисунок 3.12. Подготовка насыщенной почвенной пасты по методу Ричарда

При достижении нужной глубины устройство вынимают из грунта и извлекают съёмный металлический цилиндр, содержащий образец грунта. Учитывая размер цилиндра и вес высушенной в печи почвы внутри цилиндра, мы могли рассчитать насыпную плотность по следующему соотношению:

$$\text{Насыпная плотность} = \frac{\text{=масса печного сухого грунта}}{\text{/ общий объем почвы}}$$

Содержание калия в почве экстрагировали обработкой почвы раствором ацетата аммония 1 % и затем оценивали с помощью аппарата (flame photometer FP910-PG). Минеральный азот извлекали из почвы путём обработки почвы раствором хлорида калия, а затем оценивали содержание азота с помощью анализатора (Scalar sp - 2000). Доступный фосфор в почве оценивали путём обработки почвы раствором бикарбоната натрия (0,5), а затем доступный фосфор оценивали с помощью анализатора.

Для оценки содержания органического вещества в почве использовался метод потерь при воспламенении, который включает сушку образца почвы в печи и последующий нагрев его до 400°C для сжигания органического вещества. Затем количество органического вещества рассчитывали путём вычисления разницы между массой образца до и после сжигания.

Для определения влажности в образце почвы из почвы отбирали влажный образец, определяли его влажный вес, затем сушили в печи при температуре 105°C в течение 24 часов, после чего определяли его сухой вес, затем влажность рассчитывали следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Влажность почвы \%} &= \\ &= [(\text{вес влажного образца} - \text{вес сухого образца}) / \text{сухая масса}] \times 100. \end{aligned}$$

Для определения пористости образца почвы были использованы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \text{Пористость почвы \%} &= \\ &= [(\text{истинная плотности} - \text{насыпная плотность}) / \text{истинная плотности}] \times 100. \end{aligned}$$

С помощью прибора (Pressure Plate Apparatus - Model LAB023) были рассчитаны вместимость поля и постоянная точка увядания образца почвы.

Для определения гигроскопической влажности образца почвы были использованы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \text{Гигроскопическая влажность} &= \\ &= \text{постоянная точка увядания} / 1,5 \times \text{насыпная плотность} \end{aligned}$$

Климатические данные района исследований были получены с веб-сайта Международного банка по климату [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org).

Классификации засоленности почв осуществлялась по методикам Почвенного института имени В.В. Докучаева, соотношение токсичных солей в экстракте насыщенной почвенной пасты оценивалось в зависимости от следующего соотношения (Bankovi, 1985):

$$\text{Соотношение токсичных солей} \\ (\text{СТС}) = (\text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+})_{(\text{М.экв})} / 15$$

Изложенный комплексный подход позволяет глубоко анализировать физические и химические свойства почвы, что необходимо для оптимизации управления земельными ресурсами и планирования мелиоративных мероприятий. Эти методы предоставляют важные сведения для оценки устойчивого развития сельскохозяйственных территорий и помогают в адаптации регионов с аридными условиями к экологическим вызовам.

### **3.3.5. Методики мониторинга промывки засоленных почв**

Разработка методики и оборудования для градиентного мониторинга процесса промывки засоленных почв выполнена в лабораториях РГАУ-МСХА, а экспериментальная проверка - в полевых условиях на картах намыва Раменского городского округ. Применить установку в условиях Сирии не представлялось возможным. Монолиты для физического моделирования промывки засоленных почв отобраны на землях Веселовского района Ростовской области в 2022 г. из первой надпойменной террасы р. Маныч. Для этих целей использовались почвенные буры диаметром 47 мм. Методика отработывалась на лугово-чернозёмных почвах

содового типа засоления при наличии щёлочности 8,71 ммоль (экв.)/100 г. почвы в слое 0 - 100 см.

### **3.3.6. Методы определения водно-физических свойств почвы и концентрации солей**

Для измерения электропроводности почвенных растворов с использованием электродных ячеек применён метод А.И. Позднякова (2005). Этот метод позволяет оценить степень засоленности почвы и её способность проводить электрический ток. Для измерения электропроводности использовались специальные ячейки с электродами из инертного материала – графита, а также кондуктометр, откалиброванный по растворам известной концентрации солей. Дистиллированная вода использовалась для приготовления почвенных суспензий, которые смешивались в стаканах и перемешивались с помощью мешалки. Точные объёмы измерялись с использованием пипеток и мерных цилиндров.

Образцы почвы отбирались с разных глубин (0-25 см, 26-50 см, 51-75 см, 76-100 см) в количестве, достаточном для анализа. Образцы высушивались до постоянной массы при температуре 105 °С, чтобы удалить влагу, и просеивались через сито с диаметром отверстий 2 мм для удаления крупных частиц и органических остатков.

Для каждого образца почвы бралась навеска массой 10 г, к которой добавлялась дистиллированная вода в соотношении 1:2 (10 г почвы + 20 мл воды). Суспензия тщательно перемешивалась с использованием мешалки в течение 5 мин для равномерного распределения солей в растворе, затем оставлялась на 24 ч при комнатной температуре для достижения равновесия.

Кондуктометр калибровался с использованием стандартных растворов хлорида калия (KCl) с известной электропроводностью. Электродная ячейка

помещалась в почвенную суспензию, и кондуктометром измерялась электропроводимость раствора в десисименсах на 1 м (dS/m). Для достижения требуемой точности проводились 3-х кратные измерения для каждого образца, после чего рассчитывалось среднее значение электропроводимости. При необходимости значения корректировались с учётом температуры измерений (стандартно – 25 °С).

Полученные данные интерпретировались с учётом стандартов и норм по электропроводимости для различных типов почв и условий, и результаты сравнивались с контрольными значениями для оценки эффективности применения биомелиорантов.

**Определение кислотности (pH)** засоленных почв на указанных глубинах по вариантам опыта осуществлено по образцам почвы извлечённой при помощи почвенного бура. Образцы помещались в пластиковые контейнеры для хранения и маркировались. Оборудование для приготовления водной вытяжки представлено мерным цилиндром (50 мл или 100 мл), стеклянными или пластиковыми стаканами объёмом 250 мл., лабораторными весами с точностью до 0,01 г., магнитной мешалкой, фильтровальной бумагой и воронкой, стеклянными палочками для перемешивания, пипеткой. Для изменения кислотности применялся стандартный лабораторный рН-метр с точностью до 0,01 и буферные растворы для калибровки рН-метра (рН 4,0, 7,0 и 9,0).

Для проведения анализа приготавливается водная вытяжка. Для этого берётся 10 г воздушно-сухой почвы, предварительно просеянной через сито с размером ячеек 2 мм. Образец помещается в стакан, куда добавляется 25 мл дистиллированной воды (соотношение 1:2.5). Смесь перемешивается с помощью стеклянной палочки и оставляется для экстракции на 30 минут, периодически перемешивая. После завершения экстракции смесь фильтруется через фильтровальную бумагу, и полученный фильтрат используется для измерения рН. Перед измерением необходимо

откалибровать рН-метр с использованием стандартных буферных растворов (рН 4,0; 7,0 и 9,0) для изменения рН электрод рН-метра опускается в фильтрат, избегая касания стенок стакана. Значение рН фиксируется после стабилизации показателя. Процедура повторяется для каждого из образцов. Полученные значения рН записываются в таблицу для каждого варианта опыта и глубины отбора. Данные анализируются для выявления изменений кислотности в зависимости от применяемых агротехнических методов и глубины почвы.

Обязательное соблюдение условия проведения анализа: измерения рН должны проводиться при комнатной температуре. рН-метр необходимо регулярно калибровать, чтобы обеспечить точность измерений. Рекомендуется проводить каждый анализ в трёхкратной повторности для получения более надёжных данных.

***Методика определения концентрации ионов калия ( $K^+$ ), кальция ( $Ca^{2+}$ ), магния ( $Mg^{2+}$ ) и натрия ( $Na^+$ )***

Образцы почвы отбирались с разных глубин (0-25 см, 26-50 см, 51-75 см, 76-100 см) при различных вариантах эксперимента: контроль (без обработки), компост, биопрепараты, компост + биопрепараты.

Оборудование для подготовки экстракта: дистиллированная вода, мерный цилиндр (100 мл), стеклянные или пластиковые стаканы объёмом 250 мл., лабораторные весы с точностью до 0,01 г., магнитная мешалка или механический встряхиватель. Аналитическое оборудование: фотометр с пламенной фотометрией: Для измерения концентрации  $K^+$  и  $Na^+$ , атомно-абсорбционный спектрофотометр (AAS): для определения концентрации  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , стандартные растворы  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  для калибровки приборов, фильтровальная бумага и воронка, стеклянные палочки для перемешивания, пипетки с точностью до 0,01 мл.

Подготовка водной вытяжки: для каждого почвенного образца готовится водная вытяжка. Для этого 10 г воздушно-сухой почвы

(просеянной через сито с ячейками 2 мм) помещается в стакан. К почве добавляется 50 мл дистиллированной воды (соотношение 1:5). Смесь перемешивается и оставляется для экстракции на 30 минут, периодически перемешивая. Полученная почвенная суспензия фильтруется через фильтровальную бумагу.

Измерение концентрации  $K^+$  и  $Na^+$  с помощью фотометра: калибровка фотометра: перед измерением прибор калибруется с использованием стандартных растворов калия и натрия. Измерение: фильтрат вводится в фотометр, и концентрация  $K^+$  и  $Na^+$  определяется на основе их поглощения. Измерение концентрации  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра: Калибровка спектрофотометра: перед измерением проводится калибровка спектрофотометра с использованием стандартных растворов кальция и магния. Измерение: фильтрат анализируется на спектрофотометре для определения концентрации  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .

Регистрация и обработка данных: все измеренные концентрации ионов для каждого образца заносятся в таблицу.

Данные анализируются для сравнения концентраций ионов на разных глубинах и между вариантами опыта.

Обязательное соблюдение условия проведения анализа: перед началом измерений все приборы должны быть откалиброваны с использованием соответствующих стандартных растворов. Анализы рекомендуется проводить в трёхкратной повторности для повышения точности и надёжности результатов. Измерения следует проводить при комнатной температуре, чтобы минимизировать возможные отклонения в данных.

### **3.3.7. Методы статистической обработки данных**

Результаты исследования получены на методически правильно



организованном полевом опыте, на основе репрезентативных данных выращивания трёхлетней люцерны под влиянием биомелиорантов. Достоверность полученных результатов подтверждена применением апробированных методик и современного лабораторного оборудования, использованием методов статического анализа, в частности двухфакторного дисперсионного и регрессионного анализа (Доспехов, 1985); (Герасимов, Хлюстов, 2001). Во всех случаях достоверность различий между вариантами опыта доказывалась по F-критерию Фишера на 5-ти и 1-процентном уровнях значимости.

Контрольное сравнение различий попарного сравнения средних значений показателя по вариантам опыта с величиной наименьшей существенной разницы (НСР) проведено с использованием критических значений Q для распределения Тьюки (НСР<sub>05</sub>) на 5-ти процентном уровне значимости. Фрагмент критических значений Q из статистического приложения представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Критические значения Q для распределения Тьюки на 5-ти процентном уровне значимости при числе степеней свободы для ошибки

Число вариантов опыта (k)	Критические значение Q для уровня значимости 0,05 при числе степеней свободы ошибки (df)				
	10	20	30	40	60
2	3,151	2,950	2,888	2,858	2,829
3	3,877	3,578	3,486	3,442	3,399
4	4,327	3,958	3,845	3,791	3,737
5	4,654	4,232	4,102	4,039	3,977
6	4,912	4,445	4,302	4,232	4,163
7	5,124	4,620	4,464	4,389	4,314
8	5,305	4,768	4,602	4,521	4,441
9	5,461	4,896	4,720	4,635	4,550
10	5,559	5,008	4,824	4,735	4,646

Расчёт наименьшей существенной разницы осуществляется по формуле:

$$НСР_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

где:

MSE – среднее квадратическое отклонение из итоговой таблицы дисперсионного анализа;

n – число повторностей в каждом варианте опыта.

Математическая интерпретация закономерностей изменения урожайности люцерны по трём годам вегетации, а также зависимости электропроводности, кислотности почв и концентрации солей калия, кальция, магния и натрия от глубины почвенного слоя в градиенте 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см, 76-100 см проведена множественным регрессионным анализом с использованием фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 2017). Фиктивные переменные включены в регрессионные модели для кодирования вариантов опыта. В результате была получена матрица блоковых фиктивных переменных (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блоковые фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

Конкретный вид регрессионных моделей, включающих сочетание качественных характеристик вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными (табл. 3.3) и численных значений, таких как год вегетации люцерны или глубина почвенного слоя, представлен в разделах главы 6 и 7.

### 3.3.8. Объём экспериментального материала

Многогранные комплексные исследования, включающие физическое моделирование, микробиологическую, агрономическую и мелиоративную части, опирались на достаточный экспериментальный материал. Ниже

представлен перечень работ и операций, в которых соискатель принимал непосредственное участие.

1. Закладка полевого опыта для оценки урожая люцерны:

В эксперименте было задействовано 4 варианта с 3 повторностями каждый ( $4 \times 3 = 12$ ) и 20 укосами (1-й год – 5; 2-й год -7; 3-й год - 8) по каждому варианту, что составило 240 укосов.

Вес урожая с укосов был определён 240 раз.

2. Закладка опытов и взятие образцов почвы для анализа кислотного-солевого комплекса:

Было взято 48 образцов почвы из 4 разных слоёв (0-25, 26-50, 51-75, 76-100 см) в 4 вариантах с 3 повторами.

3. Проведение лабораторных анализов кислотного-солевого комплекса почвы:

Осуществлено 288 почвенных анализов на основе 6 показателей кислотного-солевого комплекса по 48 образцам.

4. Проведение микробиологических анализов:

Подготовлено 162 чашки Петри для культивации 6 видов микроорганизмов с 3 повторениями каждого.

5. Проведение лабораторных исследований физико-химических характеристик почвы:

Выполнено 84 почвенных анализа по 21 показателю физико-химических характеристик, распределённых по 4 почвенным слоям.

6. Определение микроорганизмов на поверхности семян люцерны:

Приготовлено 54 чашек Петри для определения 2 видов микроорганизмов, стимулирующих рост растений на 3 образцах семян.

Таким образом, в ходе экспериментальных работ проведена серия измерений и анализов, охватывающих как агрономические, так и микробиологические аспекты возделывания люцерны. Работы включали оценку урожайности, изучение кислотного-солевого состава почвы, анализ

физико-химических характеристик почвы и микробиологические исследования микрофлоры почвы и семян. В таблице 3.4 в деталях представлен объём работ, выполненных лично автором в период обучения в аспирантуре РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Таблица 3.4. Виды и объём выполненных работ

№.	Вид работ	Объём работ
1.	Закладка полевого опыта для оценки урожая люцерны по 3 годам наблюдений	число вариантов: 4 шт., число повторности: 3 ед., число укусов: 20 ед., Итого: число укусов: 240 ед. ( $4 \times 3 \times 20 = 240$ ), число взвешиваний: 240 раз.
2.	Закладка опытов и взятие образцов почвы для оценки изменений в кислотно-солевом комплексе показателей по профилю почвы по слоям 0-25, 26-50, 51-75, 76-100 см	число вариантов: 4 шт., число повторности: 3 ед., число почвенных слоёв: 4 ед. Итого: число образцов: 48 шт. ( $4 \times 3 \times 4 = 48$ )
3.	Проведение лабораторных анализов по показателям кислотно-солевого комплекса почв	число показателей кислотно-солевого комплекса: 6 ед. Итого: число почвенных анализов: 288 ед. ( $48 \times 6 = 288$ ).
4.	Проведение микробиологических анализов	число подготовленных посевов: 3 ед. число повторений чашек петри: 3 ед. число видов микроорганизмов: 6 ед. число культиваций каждого вида микроорганизмов: 3 ед. Итого подготовлено чашек Петри: 162 ед. ( $3 \times 3 \times 6 \times 3 = 162$ )
5.	Проведение лабораторных исследований физико-химических характеристик почвы	число показателей физико-химических характеристик почв: 21 ед. число почвенных слоёв: 4 ед. Итого число почвенных анализов: 84 ед. ( $21 \times 4 = 84$ )
6.	Определение микроорганизмов на поверхности семян люцерны, стимулирующих рост растений	число образцов семян: 3 ед. число повторений чашек Петри: 3 ед. число видов микроорганизмов: 2 ед. Итого приготовленных чашек Петри: 54 ед. ( $3 \times 3 \times 2 \times 3 = 54$ )

## 4. ВЛИЯНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТЬ

### 4.1. Микробиологическая активность засоленных почв

Засоленные почвы аридной зоны характеризуются низкой микробиологической активностью, что является главным фактором их деградации и потери плодородия. Одним из перспективных подходов к восстановлению таких земель является применение природоподобных технологий, основанных на активации микробных сообществ. Эти технологии направлены на интеграцию микробных и растительных компонентов, что позволяет улучшить физико-химические свойства почвы, повысить её биологическую активность и восстановить продуктивность.

Засоленность почв угнетает развитие почвенных микроорганизмов, чувствительных к высокому осмотическому давлению и ионному стрессу. Это приводит к снижению численности азотфиксирующих бактерий (*Rhizobium*, *Azotobacter*), актиномицетов и грибов, участвующих в разложении органического вещества. Дефицит микробной активности замедляет процессы минерализации органики и мобилизации питательных элементов, что делает засоленные почвы малопродуктивными для сельского хозяйства. Для восстановления микробной активности используются различные приёмы природоподобных технологий.

Инокуляция семян микробиологическими препаратами является одним из основных методов, направленных на увеличение численности полезной микрофлоры в почве. Препараты на основе штаммов *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* и клубеньковых бактерий активно используются для активации процессов азотфиксации, мобилизации фосфатов и защиты растений от патогенов. Например, применение препаратов Ризоторфин и Фитоспорин способствует увеличению

численности микроорганизмов в засоленных почвах до 30% и повышению общей биологической активности.

Дополнительным важным приёмом является внесение органических добавок, таких как навоз, компосты и сидераты. Органика улучшает углеродное питание микроорганизмов, стимулируя их рост и развитие. В условиях аридной зоны особенно эффективны сидераты (люцерна, горчица), которые не только обогащают почву органическим веществом, но и улучшают её структуру и водоудерживающую способность.

Совместное культивирование растений и микроорганизмов является ещё одним природоподобным подходом. Использование засухоустойчивых культур, таких как люцерна, в сочетании с инокуляцией семян способствует симбиотической деятельности, что приводит к улучшению азотного баланса и усилению устойчивости растений к стрессовым факторам.

Для оценки эффективности природоподобных технологий применяются количественные и качественные методы анализа микробной активности почв. Основные показатели включают численность микроорганизмов (учёт КОЕ на питательных средах), микробную биомассу, ферментативную активность) и дыхание почвы (выделение  $\text{CO}_2$ ).

На основании результатов исследования общее количество потенциально активной микрофлоры (бактерий на МПА и грибы на СА) в активизированном образце засоленной почвы можно констатировать, что активность микробиологических процессов в почве протекает достаточно интенсивно, так как общая численность микроорганизмов и отдельные физиологические группы бактерий представлены довольно, обильно и разнообразно (табл. 4.1).

Доказано, что грамположительные свойства бактерий принадлежат белково – рибонуклеиновому комплексу, находящемуся на клеточной поверхности. Среди палочковидных бактерий встречаются как грамположительные, так и грамотрицательные. Большинство спорогенных

бацилл окрашивается по Грамму положительно. Экспериментальный образец почвы отличался наличием бациллярных форм бактерий (доминирующая группа среди микрофлоры данного типа почвы Сирии).

Таблица 4.1. Количество микроорганизмов (в 1г сухой почвы)

Разведение	питательная среда		Микроорганизмы	общее количество колоний	КОЕ (в млн/г почвы)
10 <sup>-3</sup>	МПА		бактерии	173	5,323076
	МРС		грибы	54	1,665138

Из общего числа выросших колоний на МПА выделяют доминирующие микроорганизмы (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Доминирующие микроорганизмы на МПА

Бактерий рода	Размеры клеток (мкм)	Вид бактерий
<i>Pseudomonas</i>	0,3 – 0,7×0,3 – 1,5	<i>Pseudomonas sp.</i>
<i>Bacillus</i>	1,2 – 2×3 – 10	<i>Bacillus megaterium</i>
	3 -10×0,5 -0,6	<i>Bacillus mesentericus</i>
	3-5× 0,6	<i>Bacillus subtilis</i>

Бактерий рода *Pseudomonas* – имеют характерную особенность: колонии круглые, неправильной формы, плоские и выпуклые, слизистые и пастообразные, грязно – белые, иногда пигментные. Клетки неспороносные прямые, часто заострёнными концами (Рис. 4.6).

К роду *Bacillus* относятся палочковидные бактерии с типичным бациллярным типом спорообразования (в период спорообразования сохраняется палочковидная форма). По характеру роста колонии на МПА можно определить и видовую принадлежность бацилл.



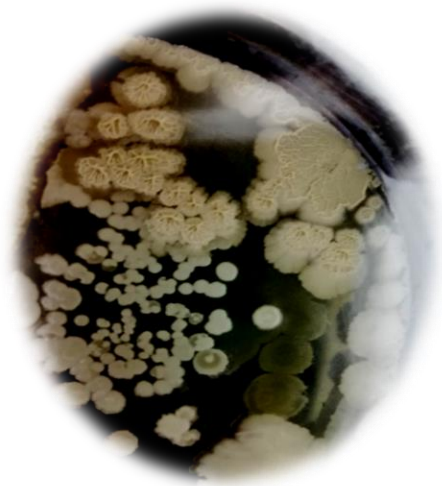


Рисунок 4.6. Колонии бактерий рода *Pseudomonas*

1. *Bacillus megaterium* – образуют гладкие, матовые, блестящие, белые или кремовые, выпуклые или слегка приподнятые колонии с концентрическими кругами (ободками); края колонии и резко очерчены или слегка волнистые, располагающийся в цепочку (рис. 4.7).

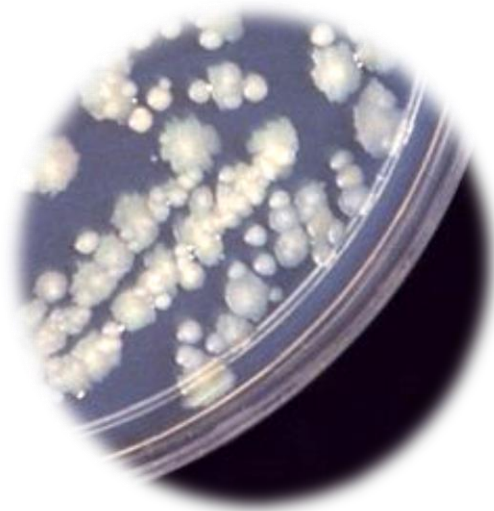


Рисунок 4.7. Колонии бактерий *Bacillus megaterium*

2. *Bacillus mesentericus* – образуют тонкие, сухие, слегка морщинистые, серовато-белые колонии; палочки (3\*10\*0,5\*0,6) мкм с закругленными концами, подвижные, по Грамму красятся положительно (рис. 5.8).

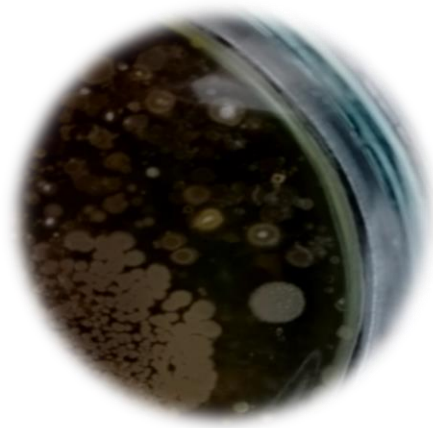


Рисунок 4.8. Колонии бактерий *Bacillus mesentericus*

3. *Bacillus subtilis* – образует сухие колонии, мелкоморщинистые, бархатистые, бесцветные, край колонии волнистый или слегка волнистый; клетка – палочка (3-5\*0,6) мкм, подвижная с округлыми концами, споры овальные (аммонификатор) (рис. 4.9).



Рисунок 4.9. Колонии бактерий *Bacillus subtilis*

Применение природоподобных технологий доказало свою эффективность на практике. Например, внесение биопрепарата на основе *Bacillus subtilis* увеличило численность микроорганизмов на 40%, а урожайность люцерны - на 15 - 20%.

Таким образом, природоподобные технологии, включая применение микробных препаратов и биомелиорантов, представляют собой эффективный способ восстановления плодородия засоленных почв в

аридной зоне. Эти методы способствуют реанимации почвенного микробиологического баланса, повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и обеспечивают устойчивость деградированных земель. Применение данных подходов при выращивании люцерны может служить моделью для успешного восстановления мелиорированных земель.

#### **4.2. Рекомендации по инокуляции семян люцерны с использованием микробиологических препаратов**

Инокуляция семян люцерны с использованием микробиологических препаратов является важным приёмом, позволяющим повысить их посевные качества и улучшить адаптацию растений к условиям засоленных почв в аридном климате Сирии. Применение таких препаратов, как Ризоторфин, Биоспорин и Фитоспорин, обеспечивает усиление азотфиксации, защиту от патогенов и стимуляцию роста растений, что особенно важно в условиях засоленности и ограниченного водоснабжения.

Препарат Ризоторфин содержит живые клетки азотфиксирующих бактерий рода *Rhizobium*, которые способствуют образованию клубеньков на корнях люцерны, увеличивая усвоение азота из воздуха. Для обработки семян рекомендуется использовать 250–300 г препарата на 20 кг семян (посевная норма на 1 га). Семена обрабатываются раствором (1 часть препарата на 5 частей воды), затем подсушиваются в тени до сыпучего состояния. Обработку необходимо проводить непосредственно перед посевом или за сутки до него.

Биоспорин, содержащий штаммы *Bacillus subtilis*, эффективно подавляет развитие патогенных микроорганизмов и стимулирует ростовые процессы. Для обработки семян используется рабочий раствор (1 г препарата на 100 мл воды) в дозировке 15–20 мл на 1 кг семян. После

равномерного смачивания раствором семена тщательно перемешиваются и подсушиваются перед высевом.

Фитоспорин, также основанный на бактериях рода *Bacillus*, улучшает устойчивость растений к стрессовым условиям и защищает от грибных инфекций. Рекомендуемая дозировка составляет 1,5–2 г препарата на 1 кг семян. Семена замачиваются в растворе (1 г на 100 мл воды) на 1–2 часа, после чего подсушиваются до состояния, пригодного для посева.

Для достижения максимального эффекта рекомендуется комбинировать обработку семян препаратами Ризоторфин и Биоспорин, что позволяет одновременно улучшить азотное питание растений и обеспечить их защиту от болезнетворных микроорганизмов. В условиях высокой засоленности почвы дозировку Биоспорина можно увеличить до 25 мл рабочего раствора на 1 кг семян. Также важно учитывать, что обработка должна проводиться в защищённых от прямого солнечного света условиях, чтобы сохранить жизнеспособность микроорганизмов.

Интеграция микробиологических препаратов с другими агротехническими мерами, такими как применение органических добавок или биомелиорантов, позволяет существенно повысить эффективность инокуляции. В сочетании с грамотным орошением эти технологии обеспечивают повышение энергии прорастания семян, улучшение развития корневой системы и увеличение общей продуктивности люцерны. Такой подход повышает экологичность производства люцерны и способствует долгосрочному улучшению качества засоленных почв.

### **4.3. Влияние микробиологической активности на урожайность люцерны**

В условиях аридного климата с орошением выращивание люцерны может быть оптимизировано как с использованием биомелиорантов, так и с применением микробиологических препаратов. Рассмотрим примеры и сравнительный анализ урожайности люцерны при этих подходах.

#### ***1. Выращивание люцерны с применением биомелиорантов без микробиологических препаратов.***

Биомелиоранты - это органические или минеральные вещества, улучшающие физико-химические свойства почвы. В аридных регионах часто применяют гипсование для снижения засоленности почв.

Пример исследования. В юго-восточной части Центрально-Чернозёмной зоны России проводилось изучение влияния фосфогипса и минеральных удобрений на урожайность люцерны. Результаты показали, что применение фосфогипса в сочетании с удобрениями повышает урожайность люцерны по сравнению с контролем. (Баранов 2005).

#### ***2. Выращивание люцерны с применением биомелиорантов и микробиологических препаратов***

Микробиологические препараты содержат полезные микроорганизмы, способствующие улучшению роста и развития растений. Комбинированное использование биомелиорантов и таких препаратов может усилить положительный эффект.

Пример исследования. В Казахстане применение биопрепарата «Ризовит АКС», содержащего штаммы клубеньковых бактерий, показало увеличение основных показателей урожайности люцерны почти вдвое. Препарат обогащает почву биологическим азотом, улучшая рост растений. (Жакеева, Бекенова, и др. 2015).

### *3. Сравнительный анализ урожайности люцерны в аридных условиях с орошением*

Без микробиологических препаратов. При правильной агротехнике и использовании биомелиорантов урожайность люцерны на орошаемых землях может достигать 9–10 т/га сена. (Agroklass. com [https://agroklass.com/vyrashhivanie-lyucerny.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://agroklass.com/vyrashhivanie-lyucerny.html?utm_source=chatgpt.com)).

С микробиологическими препаратами. Применение биопрепаратов, таких как «Ризовит АКС», может увеличить урожайность люцерны почти вдвое, достигая 15–20 т/га сена на орошаемых землях (Жакеева, Бекенова и др. 2015).

#### **Вывод**

Использование микробиологических препаратов в сочетании с биомелиорантами и орошением в аридных условиях способствует значительному повышению урожайности люцерны по сравнению с применением только биомелиорантов. Это связано с улучшением азотного питания растений и повышением устойчивости к стрессовым факторам среды.

## 6. ВЛИЯНИЯ БИОМЕЛИОРАНТОВ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ, КИСЛОТНОСТЬ И КОНЦЕНТРАЦИЮ СОЛЕЙ ПОЧВЫ

### 5.1. Изменение электропроводности под влиянием биопрепаратов

Высокое содержание растворимых солей в почве снижает её плодородие и ухудшает условия для роста растений. Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, может существенно улучшить состояние почв за счёт снижения электропроводности и, соответственно, засоленности. Актуальность исследования заключается в необходимости поиска эффективных методов улучшения почвенных условий в аридных зонах для обеспечения устойчивого сельского хозяйства.

Засоление почвы является одной из серьёзных проблем в сельском хозяйстве, ограничивающей продуктивность сельскохозяйственных угодий. Для улучшения состояния засоленных почв используются различные биомелиоранты, такие как компост и биопрепараты на основе штаммов бактерий.

Исследование проводилось на опытных участках, где применялись четыре варианта обработки почвы: контроль (без мелиорантов), компост, биопрепарат и комбинация компоста и биопрепарата. Электропроводность почвы измерялась на четырёх глубинах: 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см и 76-100 см.

В разделе рассматриваются результаты статистического анализа влияния различных биомелиорантов на электропроводность почв на разных глубинах. Используемые данные представлены в таблице 5.1, а первичная визуализация распределения данных проведена с помощью ящиков с усами на рисунках 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1. Данные электропроводности почвы по вариантам опыта на разной глубине слоя почвы

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат
0-25	8,19	7,43	6,18	5,93
0-25	8,21	7,47	6,20	5,57
0-25	8,23	7,45	6,22	5,31
26-50	7,66	6,93	6,15	5,95
26-50	7,63	6,96	6,20	5,87
26-50	7,66	6,96	6,16	5,88
51-75	6,75	6,18	5,58	5,60
51-75	6,74	6,20	5,60	5,76
51-75	6,76	6,19	5,59	5,41
76-100	6,17	5,71	5,22	5,10
76-100	6,19	5,67	5,22	5,33
76-100	6,25	5,73	5,19	5,22

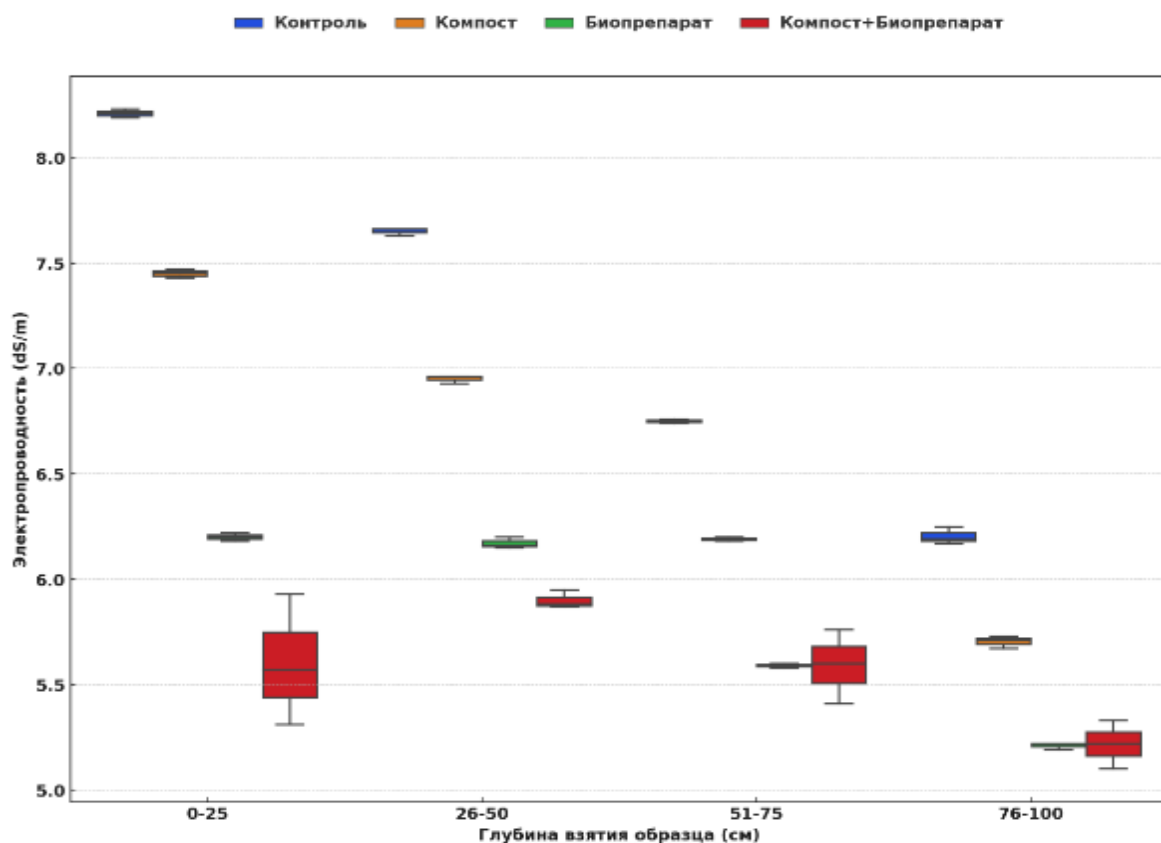


Рисунок 5.1. Ящики с усами распределения электропроводности по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы



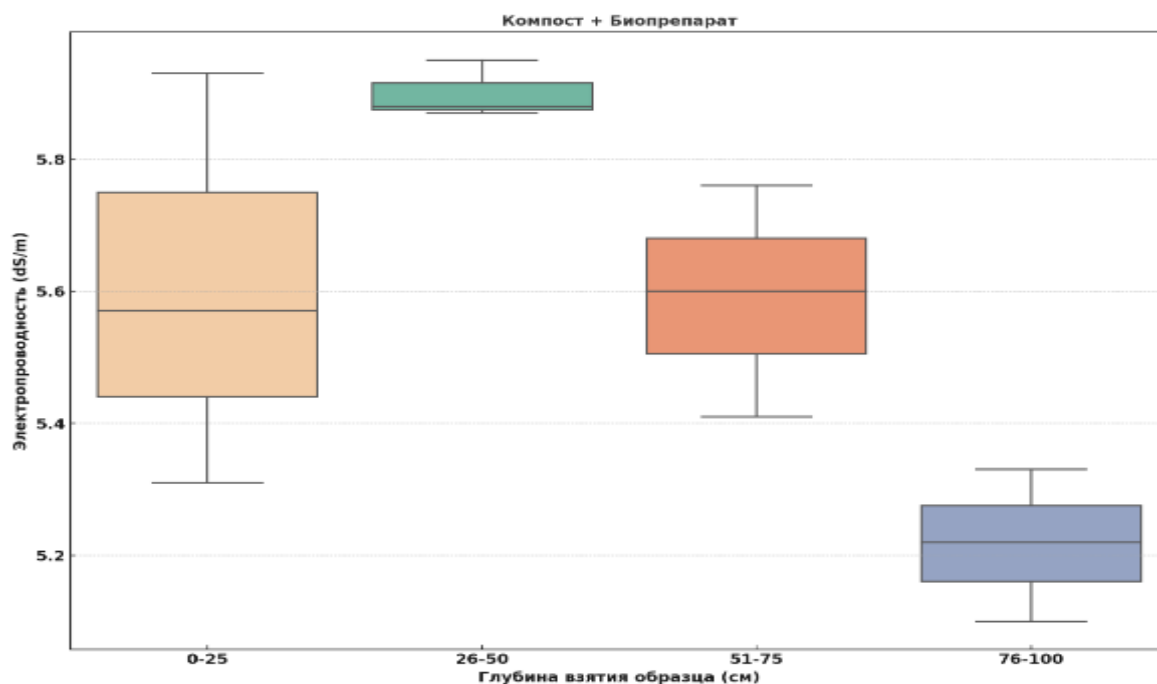


Рисунок 5.2. Ящики с усами распределения электропроводности по лучшему варианту опыта «Компост+Биопрепарат» на разной глубине взятия образцов почвы

Показанные на рисунках 5.1 и 5.2 ящики с усами отображают распределение электропроводности почв на различных глубинах для каждого варианта опыта. Эти графики позволяют визуальнo оценить медиану, интерквартильный размах и наличие выбросов в данных по электропроводности.

В целом, графики по вариантам опыта характеризуются следующим образом:

1. В варианте «Контроль» электропроводность имеет тенденцию к уменьшению с глубиной. Самые высокие значения электропроводности наблюдаются на глубине 0-25 см.
2. В варианте «Компост» похожая тенденция с уменьшением электропроводности с увеличением глубины. Значения электропроводности ниже, чем на контроле.
3. В варианте «Биопрепарат» электропроводность также снижается с глубиной, но менее выражено по сравнению с контролем и

компостом. На глубине 76-100 см наблюдаются самые низкие значения электропроводности.

4. В варианте «Компост+Биопрепарат» самые низкие значения электропроводности. Уменьшение электропроводности с глубиной менее выражено, чем в других вариантах.

Эти заключения свидетельствуют о том, что различные виды биомелиоранта влияют на электропроводность, что в свою очередь связано с изменением засоленности и других физико-химических свойств почвы.

Данные полевого опыта были проанализированы с использованием двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями для выявления значимого влияния "Варианта опыта" и "Глубины взятия образца" на электропроводность (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Результат двухфакторного дисперсионного анализа по влиянию биомелиорантов и глубинного слоя почвы на электропроводность

Показатели	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	Итого
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	24,63	22,35	18,60	16,81	82,39
Среднее	8,2100	7,4500	6,2000	5,6033	6,8658
Дисперсия	0,0004	0,0004	0,0004	0,0969	1,1593
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	22,95	20,85	18,51	17,70	80,01
Среднее	7,6500	6,9500	6,1700	5,9000	6,6675
Дисперсия	0,0003	0,0003	0,0007	0,0019	0,5138
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	20,25	18,57	16,77	16,77	72,36
Среднее	6,7500	6,1900	5,5900	5,5900	6,0300
Дисперсия	0,0001	0,0001	0,0001	0,0307	0,2596
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	18,61	17,11	15,63	15,65	67
Среднее	6,2033	5,7033	5,2100	5,2167	5,5833
Дисперсия	0,0017	0,0009	0,0003	0,0132	0,1864

Показатели	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	Итого
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	86,44	78,88	69,51	66,93	-
Среднее	7,2033	6,5733	5,7925	5,5775	-
Дисперсия	0,6600	0,4951	0,1881	0,0901	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F<sub>расч.</sub></i>	<i>F<sub>05/01</sub></i>
Вариант опыта	12,4923	3	4,1641	448,6	2,90/4,49
Глубина, см	20,0349	3	6,6783	719,4	2,90/4,49
Взаимодействие	2,9774	9	0,3308	35,6	2,19/2,98
Внутри	0,2971	<b>32</b>	<b>MSE=0,0093</b>		
Итого	35,8017	47			

Результаты развёрнутого двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями, приведённые в таблице 5.2, показали значительное влияние как типа мелиоранта, так и глубины взятия образца на электропроводность почвы ( $p < 0,05$ ).

Взаимодействие между этими факторами также оказалось статистически значимым. Во всех случаях F-критерий Фишера больше теоретического на 1 и 5-процентном уровне значимости.

После проведения дисперсионного анализа и доказательства статистических различий между вариантами опыта и глубиной взятия образцов почвы были проведены парные сравнения средних значений. Для этого был использован критерий Тьюки (Q) — это статистический метод для проведения множественных сравнений средних значений (табл. 3.2).

Он соответствует стандартному (табличному) значению на 5-ти процентном уровне значимости при числе вариантов опыта и общего числа степеней свободы ошибки (табл. 5.2). В нашем случае для 4 вариантов при 32 степенях свободы он равен значению 3,8. Основная цель теста Тьюки - выявить, какие конкретные варианты отличаются друг от друга, обеспечивая контроль уровня ошибки при множественных сравнениях.

Для расчёта наименьшей существенной разницы на 5-ти процентном уровне значимости используется формула:

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

где: Q - критическое значение распределения Тьюки представлено в таблице 3.2 для 5-ти процентного уровня значимости при числе вариантов опыта (k) и числа степеней свободы для внутригрупповых ошибок (df).

Так, для k=4 и числа степеней свободы внутри групп df=32 значение коэффициента Тьюки (Q) равно 3,8. Среднеквадратическое отклонение (MSE=0,0093) берётся из таблицы дисперсионного анализа и составляет при трёхкратной повторности вариантов опыта 0,211.

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,0093}{3}} = 0,211$$

Таблица 5.3. Результаты множественных сравнений электропроводности по вариантам опыта и по глубинам почвенного слоя тестом Тьюки

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	HCP <sub>05</sub>	P-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,76	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Биопрепарат	2,01	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Компост+ Биопрепарат	2,61	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Биопрепарат	1,25	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Компост+ Биопрепарат	1,85	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	0,60	0,211	<0,05	ЕСТЬ
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,70	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Биопрепарат	1,48	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Компост+Биопрепарат	1,75	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Биопрепарат	0,78	0,211	<0,05	ЕСТЬ

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	P-значение	Различия
Компост	Компост+Биопрепарат	1,05	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,27	0,211	<0,05	ЕСТЬ
<i>Глубина 51-75 см</i>					
Контроль	Компост	0,56	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Биопрепарат	1,16	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Компост+Биопрепарат	1,16	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Биопрепарат	0,60	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Компост+Биопрепарат	0,60	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,00	1,000	>0,05	Нет
<i>Глубина 75-100 см</i>					
Контроль	Компост	0,50	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Биопрепарат	0,99	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,99	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Биопрепарат	0,49	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Компост	Компост+Биопрепарат	0,49	0,211	<0,05	ЕСТЬ
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,00	1,000	>0,05	Нет

Таблица 5.3 результатов теста Тьюки включает пары вариантов с разницей средних значений. Доверительный интервал для разницы средних значений показывает диапазон, в котором с доверительной вероятностью 95% находится истинная разница средних. Если р-значение меньше 0,05, то различие считается статистически значимым.

Подтверждением существенности различий в электропроводности между вариантами опыта и глубиной почвенного профиля служит столбчатая диаграмма (рис. 5.3).

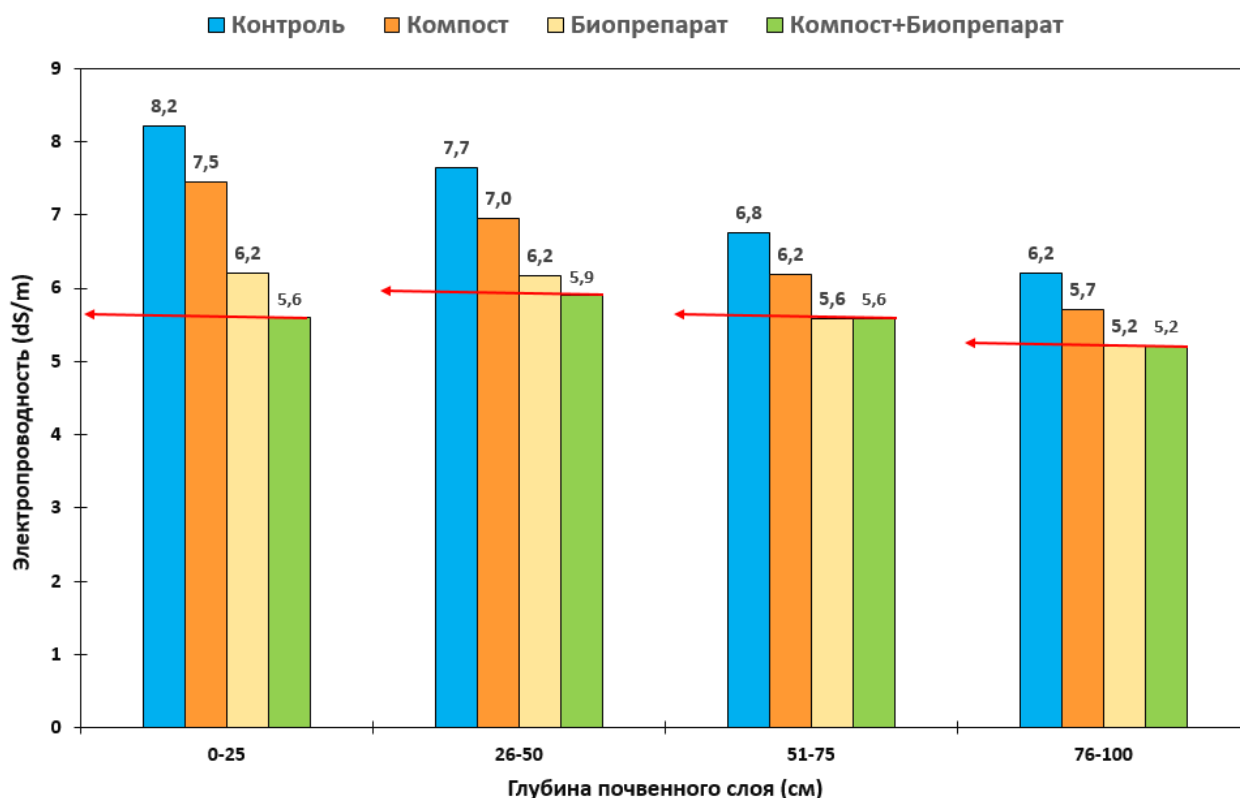


Рисунок 5.3. Средние значения параметров электропроводности по вариантам опыта на разных глубинах почвы к третьему году возделывания люцерны

Наряду со статистической оценкой электропроводности по вариантам опыта с учётом глубины её измерения следует указать на уже известные взаимосвязи электропроводности с водно-физическими и химическими свойствами почв. Так, электропроводность почвы тесно связана с её водно-физическими и химическими свойствами. При этом важно учитывать следующие явления и параметры:

1. Влажность почвы влияет на электропроводность, так как вода в почве действует как растворитель для солей, повышая проводимость.
2. Гранулометрический состав и плотность почвы влияют на пористость и, соответственно, на движение воды и растворимых веществ.
3. Высокое содержание органического вещества может связывать соли, влияя на электропроводность.
4. Кислотность почвы влияет на растворимость различных солей, что в свою очередь изменяет её электропроводность.

Также следует учитывать, что засоленность почвы определяется концентрацией растворимых солей, которые могут существенно влиять на электропроводность. Такие соли как хлориды, сульфаты, карбонаты и бикарбонаты натрия, кальция и магния, увеличивают электропроводность почвы. Таким образом, существует прямая корреляционная связь между содержанием солей и электропроводностью: чем выше концентрация солей, тем выше электропроводность.

Итак, применение биомелиорантов привело к значительному снижению электропроводности почвы, что свидетельствует о снижении содержания растворимых солей. Это особенно важно для верхнего слоя почвы, который наиболее подвержен засолению и наиболее важен для корневой системы растений. Компост и биопрепараты могут способствовать улучшению структуры почвы и увеличению содержания органического вещества, что, в свою очередь, уменьшает концентрацию солей в почвенном растворе.

Результаты исследования особенно важны для аридных условий Сирийской Арабской Республики, где проблема засоленности почв является критической. Введение биомелиорантов может существенно улучшить состояние почв и способствовать устойчивому сельскому хозяйству в регионе.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности биомелиорантов для улучшения почвенных условий и снижения засоленности, что может способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур (Исмаил, Хлюстов, Безбородов, 2024).

Для описания динамики электропроводности к третьему году выращивания люцерны по вариантам опыта построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину почвенного слоя и названия вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель динамики снижения электропроводности с глубиной почвенного слоя вида:

$$E_{se} = \exp(1,81863 - 0,09095X_1 - 0,17136X_2 - 0,16028X_3 - 0,40990 \ln GL - 0,14916(\ln GL)^2 + \ln GL \times (0,07305X_2 + 0,15286X_3)) \quad (1)$$

$$R^2 = 0,996; ES = \pm 0,11\%; F = 323,5 \text{ при } P < 0,05;$$

$$t = |236,0; 11,6; 15,6; 14,6; 19,9; 11,1; 5,6; 11,8| > t_{05} = 1,96$$

где:

$E_{se}$  – электропроводность, dS/m;

GL – нижняя граница глубины почвенного слоя, м;

$R^2$  – показатель детерминации;

ES – среднеквадратическая ошибка модели, %

F – критерий достоверности модели;

t – критерий значимости численных коэффициентов

Графическая интерпретация снижения электропроводности с увеличением глубины почвенного слоя по вариантам опыта показана на рисунке 5.4.



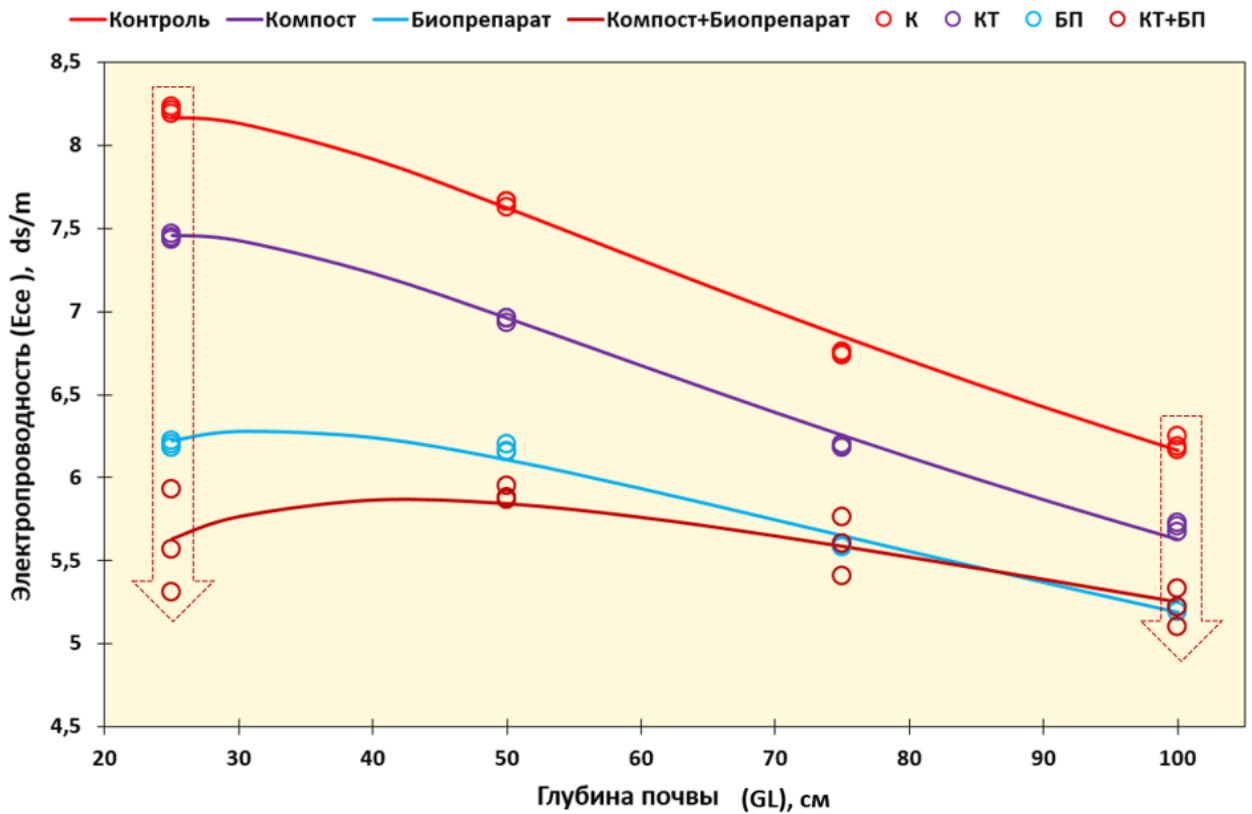


Рисунок 5.4. Сравнение теоретических данных (модель 1) по электропроводности с эмпирическими данными вариантов полевого эксперимента

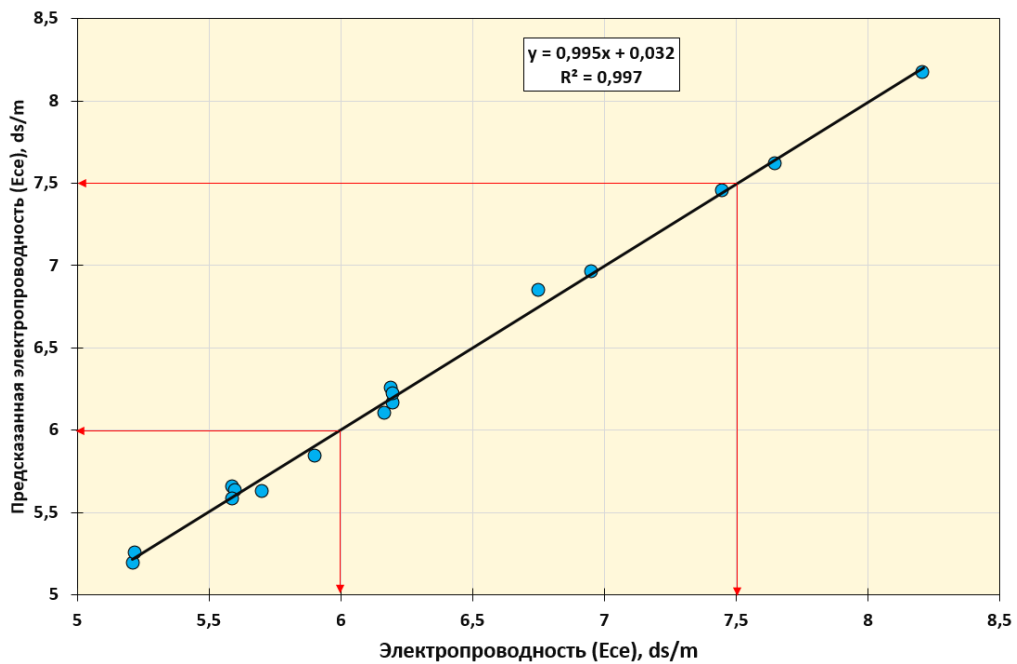


Рисунок 5.5. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (1)

О точности предсказанных значений  $E_{se}$  можно судить по квадрату оценки адекватности. Если значения зависимой переменной по опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. В этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.5).

По результатам статистического анализа были сформулированы следующие научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значимость для научной и практической работы.

Обобщая изложенное, подчеркнём, что электропроводность почвы в значительной степени зависит от глубины её слоя. Так, в диапазоне от 0 до 25 см отмечено наибольшее накопление солей, что обусловлено испарением влаги и высокой концентрацией растворимых солей в верхних слоях. По мере углубления в почвенный профиль электропроводность снижается, что объясняется вымыванием солей в нижние горизонты. Эти результаты указывают на понижение уровня засоленности на глубине, особенно в условиях аридного климата, где вымывание происходит более интенсивно.

Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, показало значительное снижение электропроводности почвы. В частности, комбинация компоста и биопрепаратов обеспечила минимальные показатели электропроводности на всех уровнях глубины. Эти результаты свидетельствуют о том, что биомелиоранты способствуют уменьшению концентрации растворимых солей, улучшая физико-химические свойства почвы и снижая её засоленность, что особенно важно для сельского хозяйства в зонах с повышенной засоленностью.

Биомелиоранты способствуют повышению содержания органического вещества в почве, что улучшает её структуру и водопроницаемость. Биологические процессы разложения органики и создание устойчивых почвенных структур способствуют равномерному распределению влаги и

растворимых солей, снижая концентрацию солей в верхних слоях, важных для корневой системы растений. В результате применения биомелиорантов электропроводность почвы снижается, что поддерживает более благоприятные условия для роста культур.

Анализ данных и построение регрессионной модели показывают, что электропроводность почвы обусловлена глубиной почвенного слоя и типом используемых биомелиорантов. Наибольшее снижение электропроводности наблюдалось на глубине 0–25 см при сочетании компоста и биопрепаратов. Взаимодействие факторов глубины и использования биомелиорантов подтверждает необходимость комплексного подхода к мелиорации засоленных почв, особенно в аридных регионах, где сочетание данных методов позволяет значительно улучшить почвенные условия.

Результаты исследования подчёркивают важность применения биомелиорантов для уменьшения электропроводности и снижения засоленности почвы в аридных регионах. Эти изменения создают благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур, повышая их урожайность и устойчивость к засухе. Применение биомелиорантов является перспективной мерой для улучшения продуктивности сельского хозяйства в регионах с засоленными почвами, так как оно позволяет эффективно поддерживать водный и солевой баланс почвы.

Комбинация компоста и биопрепаратов является эффективным методом улучшения состояния засоленных почв. Снижение электропроводности, особенно в верхнем слое почвы, достигаемое благодаря биомелиорантам, позволяет успешно снизить содержание растворимых солей и повысить устойчивость почв к засолению. Эти результаты имеют важное значение для сельскохозяйственных систем в аридных зонах. Полученные данные могут послужить основой для дальнейших исследований в области биомелиорации и устойчивых

агропрактик, способствующих долговременному повышению продуктивности почвы и урожайности культур в условиях засоления.

### ***Выводы***

1. Применение биомелиорантов (компост и биопрепарат) значительно снижает электропроводность почвы. Наибольшее снижение электропроводности наблюдается в верхнем слое почвы (0-25 см). Комбинированное применение компоста и биопрепарата имеет наибольший эффект на снижение электропроводности. Критериальная оценка дисперсионного анализа и расчёт НСР<sub>05</sub> по Тьюки подтверждают статистическую значимость полученных различий между вариантами опыта.

2. Разработанная регрессионная модель динамики электропроводности почвы обладает высокой точностью предсказания ( $R^2=0,996$ ) и демонстрирует значительную адекватность теоретических данных эмпирическим значениям. Модель учитывает глубину почвенного слоя и тип используемых биомелиорантов, представленных фиктивными переменным.

## **5.2. Влияние биомелиорантов на кислотность почвы**

Определение кислотности почвы является критически важным для оценки её плодородия и состояния. Использование различных методик и инструментов позволяет получить точные данные о рН почвы, что необходимо для правильного выбора агротехнических мероприятий и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Исследование влияния органических удобрений и биопрепаратов на изменение кислотности почвы является важной и актуальной задачей, так как кислотность почвы существенно влияет на её плодородие, структуру и способность поддерживать рост сельскохозяйственных культур. В этом

разделе рассмотрены основные положения и научные достижения, касающиеся изменения кислотности почвы в зависимости от глубины почвенного горизонта, а также авторство ведущих учёных России и зарубежья, которые внесли значительный вклад в эту область.

Кислотность почвы, измеряемая в значениях рН, определяет химические и биологические процессы в почве. Высокая кислотность (низкий уровень рН) может ограничить доступность питательных веществ для растений и повысить токсичность некоторых элементов, например, алюминия. Наоборот, нейтральная или слабокислая почва способствует оптимальному росту растений и повышению урожайности.

Кислотность почвы может изменяться с глубиной почвенного профиля. Верхние горизонты почвы обычно более подвержены изменениям рН из-за воздействия органических веществ, дождевых осадков и агротехнических мероприятий. Более глубокие горизонты, как правило, имеют стабильный рН, но могут подвергаться влиянию природных и антропогенных факторов, таких как использование удобрений и орошение.

Органические удобрения, такие как компост, могут изменять кислотность почвы. Они улучшают структуру почвы, повышают её биологическую активность и способствуют нейтрализации кислотности. Применение компоста может снизить кислотность верхних горизонтов почвы за счёт внесения щелочных веществ и увеличения микробной активности.

Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* могут влиять на кислотность почвы за счёт своей метаболической активности. Бактерии *Bacillus* могут разлагать органические вещества, производить органические кислоты и щелочные соединения, что способствует изменению рН почвы и улучшению её структуры.

***Статистический анализ влияния биомелиорантов на кислотность***

***почвы***

Раздел посвящён оценке достоверности влияния на кислотность почв вариантов опыта и глубины почвенного слоя. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Провести графическое построение распределения значений рН водной вытяжки почв по данным вариантов применения биомелиорантов с учётом глубины почвенного слоя.

2. Провести дисперсионный анализ данных для выявления статистически значимых различий между вариантами опыта и глубиной взятия образцов почвы.

3. Рассчитать наименьшую существенную разность между вариантами опыта по тесту Тьюки для подтверждения значимости полученных результатов.

4. Определить синергетический эффект совместного применения компоста и биопрепаратов на изменение кислотности почвы.

Таблица 5.4. Данные кислотности почв (рН водной вытяжки) по вариантам опыта на разной глубине слоя почвы

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост + биопрепарат
0-25	7,92	7,35	6,90	6,71
0-25	7,86	7,34	6,79	6,31
0-25	7,89	7,33	6,80	6,33
26-50	7,82	7,46	7,21	6,79
26-50	7,82	7,49	6,98	6,58
26-50	7,81	7,49	7,11	7,33
51-75	7,74	7,65	7,56	7,10
51-75	7,73	7,69	7,68	7,40
51-75	7,75	7,76	7,62	7,55
76-100	7,15	7,12	7,11	6,70
76-100	7,12	7,15	7,11	7,10
76-100	7,15	7,15	7,10	7,20

Так, для решения поставленных задач была сформирована рабочая таблица 5.4, в которую были внесены данные полевого опыта (рН водной вытяжки) для проведения статистического анализа.

На предварительном этапе статистического анализа была построена диаграмма изменения кислотности почвы по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы (рис. 5.6). Диаграмма "ящички с усами" на основе предоставленных данных визуализирует распределение кислотности почвы на различных глубинах для разных вариантов внесения биологических мнлиорантов.

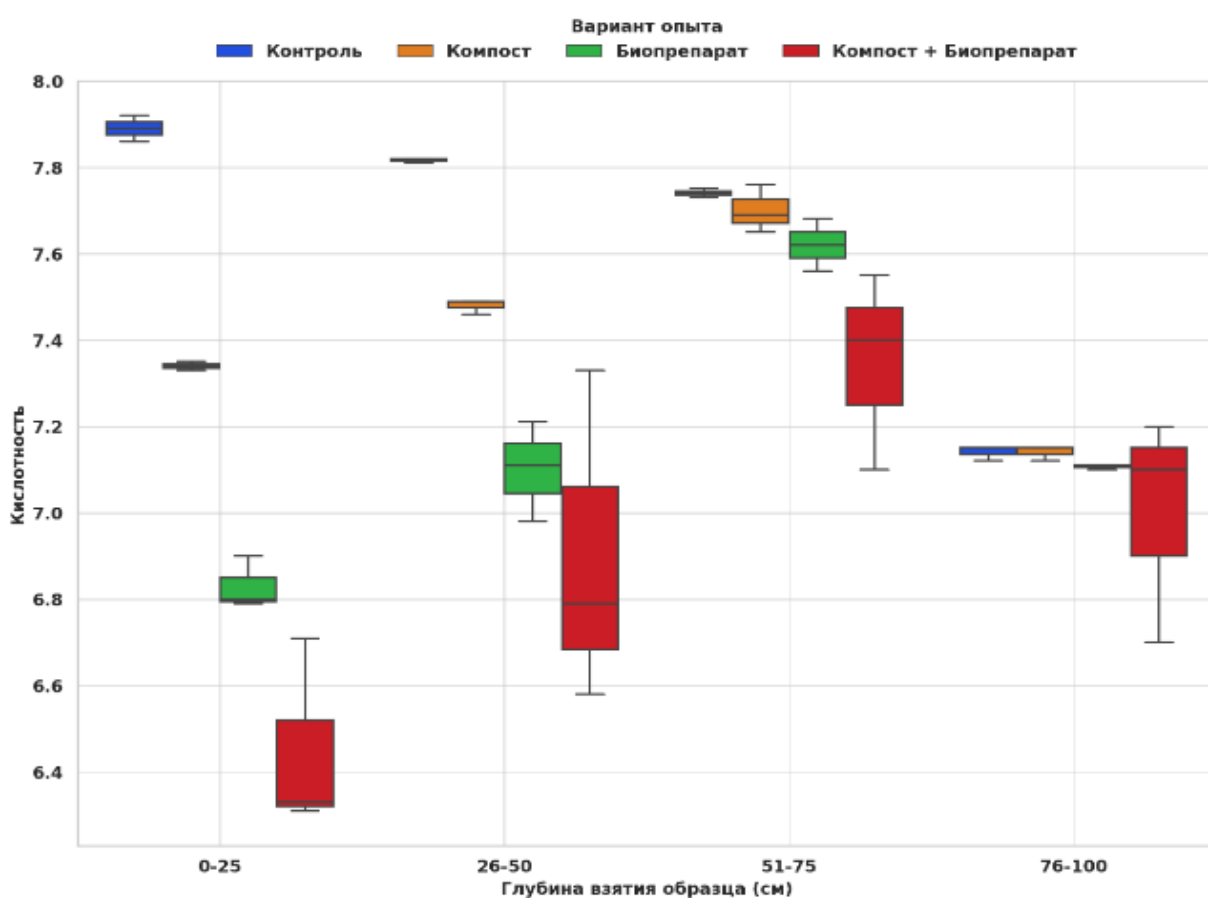


Рисунок 5.6. Диаграмма (ящички с усами) изменения кислотности почвы по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы

Подробное описание диаграммы представлено следующими компонентами:

1. Ящики: отображает интерквартильный диапазон (ИКД), который охватывает 50% данных между первым (Q1) и третьим (Q3) квантилями. Линия внутри ящика представляет собой медиану (Q2) распределения.

2. Усы: простираются от ящика до минимального и максимального значения, которые находятся в пределах 1,5 ИКД от первого и третьего квантилей соответственно.

3. Выбросы: отображаются как индивидуальные точки за пределами усов, если таковые имеются.

Варианты эксперимента обозначены цветами: контроль (синий), компост (зеленый), биопрепарат (красный), компост + биопрепарат (оранжевый). Фактор глубины взятия образца по профилю почвы представлен на оси абсцисс в градиенте: 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см, 76-100 см. Зависимая переменная: кислотность почвы (рН водной вытяжки) измеряется по шкале от 6 до 8.

По графическому анализу рисунка 3 можно сделать следующее заключение. Контрольные образцы имеют наиболее высокие значения кислотности на всех глубинах.

- Компост снижает кислотность по сравнению с контрольными образцами, особенно на глубинах 0-25 см.

- Биопрепарат ещё больше снижает кислотность, особенно на глубинах 0-25 см и 26-50 см.

- Компост + Биопрепарат демонстрирует наиболее низкие значения кислотности, особенно на глубинах 0-25 см, что указывает на синергетический эффект двух 2-компонентного мелиоранта.

Наряду с графическим представлением данных опыта был проведён двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями, результаты которого указывают на статистически значимое различие между вариантами опыта. Во всех случаях F-критерий Фишера превышает теоретические значения критерия на 5 и 1 - процентном уровнях значимости (табл. 5.5).



Результаты дисперсионного анализа показывают, что использование компоста и биопрепаратов значительно влияет на изменение кислотности почвы по сравнению с контролем. Наибольшее снижение кислотности наблюдается при совместном применении компоста и биопрепаратов.

Таблица 5.5. Дисперсионный анализ оценки влияния на кислотность почвы вариантов опыта и глубины почвенного слоя

Показатели	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	Итого
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	23,670	22,020	20,490	19,350	23,670
Среднее	7,890	7,340	6,830	6,450	7,890
Дисперсия	0,001	0,000	0,004	0,051	0,001
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	23,450	22,440	21,300	20,700	23,450
Среднее	7,817	7,480	7,100	6,900	7,817
Дисперсия	0,000	0,000	0,013	0,150	0,000
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	23,220	23,100	22,860	22,050	23,220
Среднее	7,740	7,700	7,620	7,350	7,740
Дисперсия	0,000	0,003	0,004	0,053	0,000
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	21,420	21,420	21,320	21,000	21,420
Среднее	7,140	7,140	7,107	7,000	7,140
Дисперсия	0,000	0,000	0,000	0,070	0,000
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	91,760	88,980	85,970	83,100	-
Среднее	7,647	7,415	7,164	6,925	-
Дисперсия	0,097	0,046	0,093	0,171	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<b>Источник вариации</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F<sub>расч.</sub></b>	<b>F<sub>05/01</sub></b>
Вариант опыта	1,9510	3	0,6503	29,835	2,90/4,49
Глубина, см	3,5025	3	1,1675	53,560	2,90/4,49
Взаимодействие	1,8278	9	0,2031	9,317	2,19/2,98
Внутри	0,6975	32	MSE=0,0217		
Итого	7,9788	47			

Для доказательства частных различий между вариантами применения биомелиорантов с учётом фактора глубины почвенного слоя приведена выдержка из таблицы 5.6, характеризующая средние значений pH по вариантам для разной глубины почвы.

Таблица 5.6. Средние значения рН водной вытяжки по вариантам опыта и глубине взятия образцов

Глубина (см)	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + Биопрепарат
0-25	7,89	7,34	6,83	6,45
26-50	7,82	7,48	7,10	6,90
51-75	7,74	7,70	7,62	7,35
76-100	7,14	7,14	7,11	7,00

Рассчитать наименьшую существенную разность ( $НСР_{05}$ ) для подтверждения значимости полученных результатов.

Таблица 5.7. Результаты множественных сравнений кислотности по вариантам опыта и по глубинам почвенного слоя с помощью теста Тьюки

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	$НСР_{05}$	р-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,550	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	1,060	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+ Биопрепарат	1,440	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,510	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+ Биопрепарат	0,890	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	0,380	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,337	0,365	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,717	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,917	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,380	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+Биопрепарат	0,580	0,365	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,200	0,365	>0,05	Нет
<b>Глубина 51-75см</b>					
Контроль	Компост	0,040	0,365	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,120	0,365	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,390	0,365	<0,05	<b>Есть</b>

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	HCP <sub>05</sub>	p-значение	Различия
Компост	Биопрепарат	0,080	0,365	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,350	0,365	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,270	0,365	>0,05	Нет
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Контроль	Компост	0,000	0,365	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,033	0,365	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,140	0,365	>0,05	Нет
Компост	Биопрепарат	0,033	0,365	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,140	0,365	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,107	0,365	>0,05	Нет

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,0217}{3}} = 0,365$$

На рисунке 5.7 показана диаграмма изменения кислотности почвы по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы.

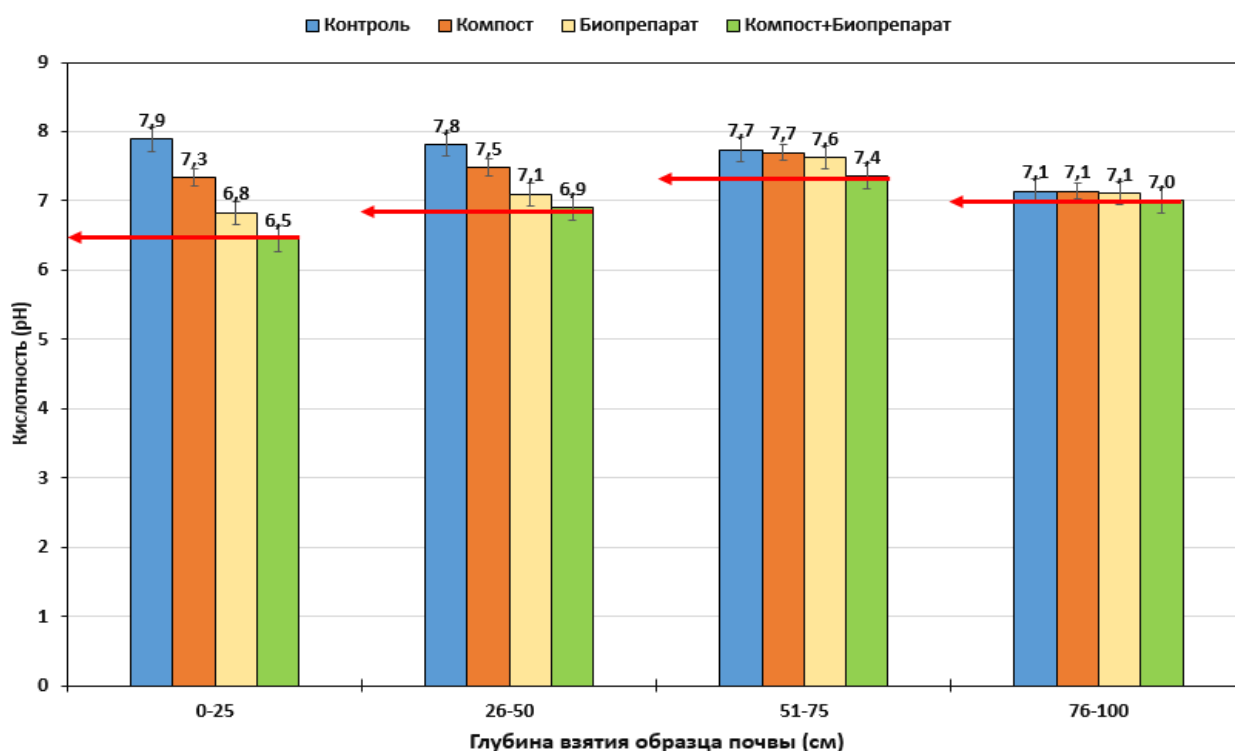


Рисунок 5.7. Диаграмма изменения кислотности почвы по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа позволила характеризовать закономерные изменения кислотности почвы под влиянием различных вариантов внесения биомелиорантов на разной глубине почвенного профиля. Рассмотрим закономерности изменения кислотности в зависимости от этих факторов.

1. Контроль (синий столбец): Кислотность почвы уменьшается с увеличением глубины. Например, на глубине 0-25 см значение рН составляет около 7,89; на глубине 26-50 см - около 7,82; на глубине 51-75 см - около 7,74; на глубине 76-100 см - около 7,14.

2. Компост (зелёный столбец): Кислотность также уменьшается с увеличением глубины, но снижение менее выражено по сравнению с контролем. На глубине 0-25 см значение рН составляет около 7,34; на глубине 26-50 см - около 7,48; на глубине 51-75 см - около 7,70; на глубине 76-100 см - около 7,14.

3. Биопрепарат (красный столбец): Кислотность значительно снижается на меньших глубинах, показывая более выраженное влияние по сравнению с контролем и компостом. На глубине 0-25 см значение рН составляет около 6,83; на глубине 26-50 см - около 7,10; на глубине 51-75 см - около 7,62; на глубине 76-100 см - около 7,11.

4. Компост + Биопрепарат (оранжевый столбец): Самое значительное снижение кислотности наблюдается при использовании комбинации компоста и биопрепарата. На глубине 0-25 см значение рН составляет около 6,45; на глубине 26-50 см - около 6,90; на глубине 51-75 см - около 7,35; на глубине 76-100 см - около 7,00.

Из представленных данных графического анализа вытекают несколько закономерностей. Контрольные образцы показывают постепенное снижение рН с увеличением глубины, что свидетельствует о том, что более глубокие слои почвы обычно более кислые. При внесении компоста наблюдается заметное, но менее значительное снижение

кислотности по сравнению с контролем, что указывает на стабилизирующее влияние компоста на рН почвы. Биопрепараты оказывают более значительное влияние, особенно на меньших глубинах, что подчёркивает их роль в значительном снижении кислотности почвы. Комбинация компоста и биопрепаратов приводит к наиболее выраженному снижению значений рН, указывая на сильный синергетический эффект, который усиливает способность почвы нейтрализовать кислотность, особенно в верхних слоях.

Эти результаты подчеркивают важность учета, как вида биомелиоранта, так и глубины отбора проб при оценке кислотности почвы и разработке стратегий управления почвой в аридных климатических условиях (Исмаил, Хлюстов, Безбородов, 2024).

Для описания динамики кислотности почвы к третьему году возделывания люцерны по вариантам опыта была построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину слоя почвы и названия вариантов опыта, закодированные фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель предсказания кислотности вида:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} = & \exp(1,95655 - 0,46791 (\ln\text{GL}) - 0,66549 (\ln\text{GL})^2 - 0,27800(\ln\text{GL})^3 + \\
 & + (\ln\text{GL})^2 \times (-0,11284X_1 - 0,30396X_2 - 0,42082X_3) + (\ln\text{GL})^3 \times \\
 & (-0,05167X_1 - 0,16291X_2 - 0,23044X_3)) \quad (2) \\
 & R^2=0,991; ES=\pm 0,08\%; F=74,4 \text{ при } P<0,05; \\
 & t= | 478,7; 11,9; 7,6; 6,0; 2,4; 6,5; 9,0; 1,5; 4,7; 6,7 | >_{t_{05}}=1,96
 \end{aligned}$$

где:

pH – кислотность;

GL – нижняя граница глубины почвенного слоя, м;

R<sup>2</sup> – показатель детерминации;

ES – среднеквадратическая ошибка модели, %

F – критерий достоверности модели;

t – критерий значимости численных коэффициентов

Графическая интерпретация выявленных изменений кислотности с увеличением глубины почвы по вариантам опыта показана на рисунке 6.8.

О точности предсказанных значений pH можно судить по квадрату оценки адекватности. Если значения зависимой переменной по опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. В этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.9).

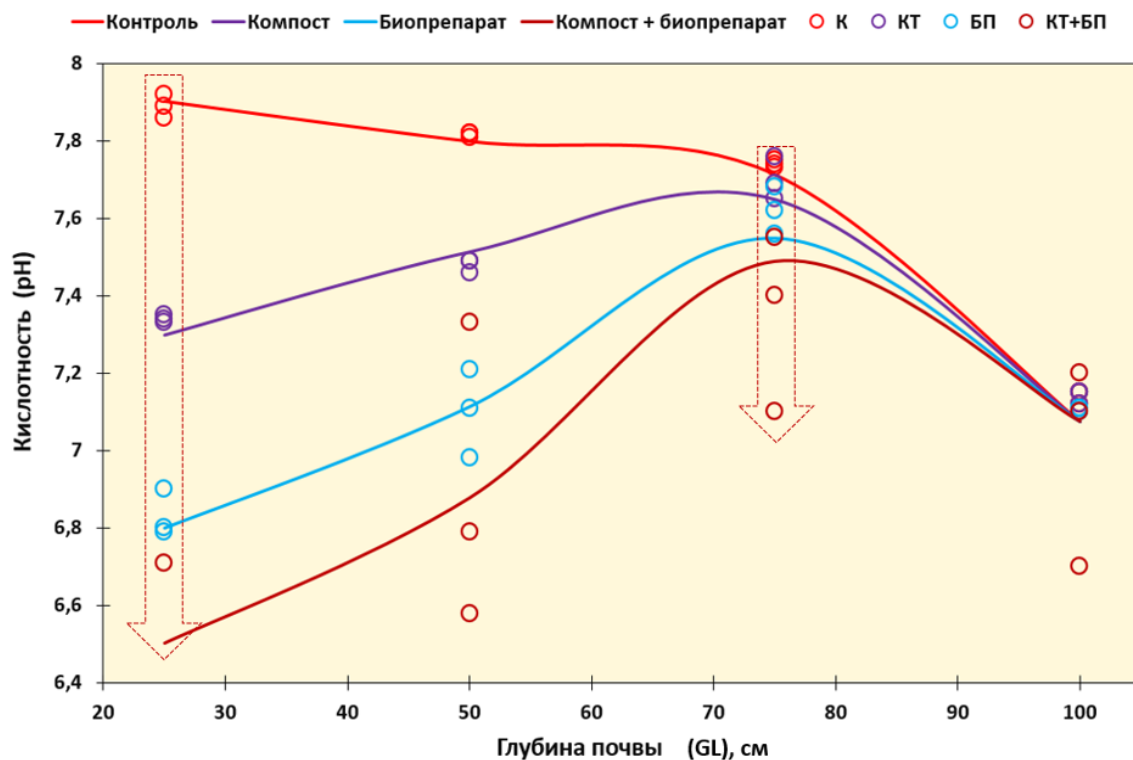


Рисунок 5.8. Сравнение теоретических данных (модель 2) по кислотности с эмпирическими данными вариантов полевого опыта

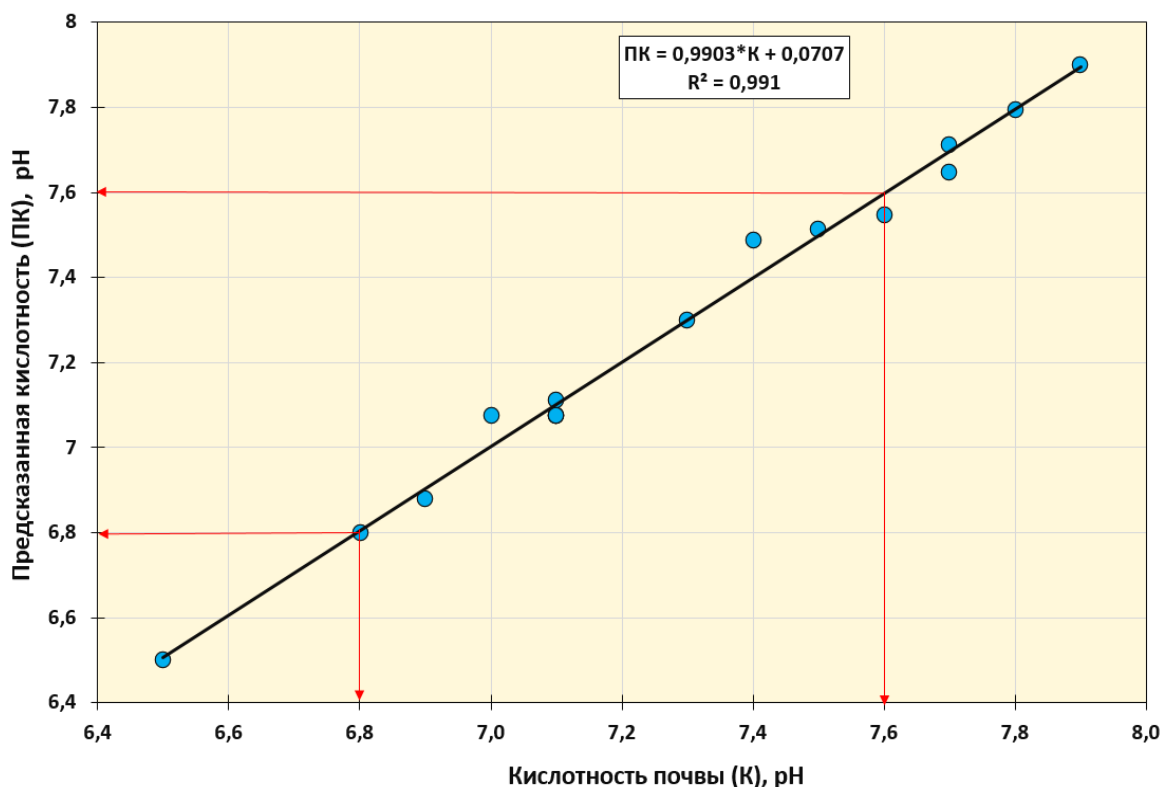


Рисунок 5.9. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (2)

По результатам статистического анализа были сформулированы следующие научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значение для научной и практической работы.

С увеличением глубины почвенного слоя кислотность изменяется из-за перераспределения растворимых солей. На глубине 0–25 см верхние слои почвы содержат высокие концентрации растворимых солей вследствие испарения влаги, что ведёт к повышенной кислотности. При углублении уровень кислотности снижается, что указывает на вымывание солей в более глубокие горизонты. Это явление особенно выражено в засушливых районах, где процесс вымывания существенно уменьшает кислотность с глубиной.

Использование биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, приводит к значительному снижению кислотности почвы. Применение этих добавок, особенно в комбинации, способствует понижению уровня кислотности на всех глубинах. Биомелиоранты улучшают физико-



химические свойства почвы за счёт уменьшения концентрации растворимых солей, что подтверждается снижением кислотности. Такой эффект свидетельствует о возможности использования биомелиорантов для создания устойчивых почвенных условий, особенно в верхних слоях, подверженных влиянию засоления.

Применение биомелиорантов усиливает биологическую активность в почве, повышая содержание органического вещества. Это улучшает её структуру, повышает водопроницаемость и способствует более равномерному распределению влаги и растворенных веществ. Органическое вещество в процессе разложения формирует устойчивые почвенные структуры, что снижает кислотность в зонах, где располагается корневая система растений. Эти процессы поддерживают стабильно низкий уровень кислотности, создавая благоприятные условия для роста растений.

Результаты анализа показывают взаимосвязь между глубиной почвенного слоя, применением биомелиорантов и уровнем кислотности. Наиболее значительное снижение кислотности было достигнуто в верхнем слое почвы (0–25 см) при комбинированном применении компоста и биопрепаратов, что указывает на их эффективность в стабилизации кислотности и снижении влияния засоления. Таким образом, комплексное применение этих методов является важным для мелиорации почв в засушливых зонах и улучшения почвенных условий.

Проведённое исследование подчеркивает значимость использования биомелиорантов для снижения кислотности и улучшения почвенных свойств в аридных регионах. Снижение кислотности, обеспечиваемое применением биомелиорантов, способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, таких как люцерна, и устойчивости земледелия в условиях засухи. Это делает биомелиоранты перспективным решением для повышения эффективности агропроизводства в зонах с засоленными почвами.

Таким образом, комбинированное использование компоста и биопрепаратов подтверждает свою эффективность в регулировании кислотности засоленных почв, особенно в верхних слоях. Снижение уровня кислотности, достигаемое за счёт биомелиорации, имеет важное значение для аграрных производств в аридных регионах. Полученные данные являются основой для дальнейших исследований и разработки устойчивых сельскохозяйственных практик, направленных на улучшение свойств почвы и обеспечение высокой продуктивности растений.

### **Выводы**

1. Применение компоста и биопрепаратов рода *Bacillus* статистически значимо снижает кислотность почвы в условиях аридного климата. Совместное использование компоста и биопрепаратов даёт наибольший эффект, что подтверждает синергетическое действие фитомелиоранта-люцерны и микробиологического препарата, выступающего в качестве биокатализатора. Критериальная оценка дисперсионного анализа и расчёт НСР<sub>05</sub> по Тьюки подтверждают статистическую значимость полученных различий между вариантами опыта.

2. Разработанная регрессионная модель динамики кислотности почвы обладает высокой точностью предсказания ( $R^2=0,991$ ) и демонстрирует значительную адекватность теоретических данных эмпирическим значениям. Модель учитывает глубину почвенного слоя и тип используемых биомелиорантов, представленных фиктивными переменными.

### **5.3. Динамика концентрации солей калия, кальция, магния и натрия**

#### **Динамики концентрации калия по глубине почвы**

Засоление почвы является одной из серьёзных проблем в сельском хозяйстве, ограничивающей продуктивность сельскохозяйственных угодий. Для улучшения состояния засоленных почв используют различные

биомелиоранты, такие как компост и биопрепараты на основе штаммов бактерий. В данном разделе представлены результаты статистического анализа влияния различных биомелиорантов на концентрацию калия ( $K^+$ ) в почве на разной глубине. Используемые данные представлены в таблице 5.8, а первичная визуализация распределения данных проведена с помощью ящиков с усами на рисунке 5.10.

Исследование проводилось на опытных участках, где применялись четыре варианта обработки почвы: контроль (без мелиорантов), компост, биопрепарат и комбинация компоста и биопрепарата. Концентрация калия ( $K^+$ ) в почве измерялась на глубинах: 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см и 76-100 см.

Таблица 5.8. Данные о концентрации калия ( $K^+$ ) по вариантам опыта на разной глубине почвы

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат
0-25	0,70	0,68	0,75	0,86
0-25	0,69	0,66	0,70	0,84
0-25	0,73	0,70	0,74	0,75
26-50	0,30	0,29	0,36	0,49
26-50	0,30	0,31	0,32	0,56
26-50	0,33	0,30	0,34	0,59
51-75	0,23	0,23	0,21	0,36
51-75	0,21	0,21	0,20	0,29
51-75	0,23	0,23	0,22	0,32
76-100	0,19	0,19	0,18	0,22
76-100	0,20	0,20	0,20	0,19
76-100	0,18	0,18	0,19	0,27

На диаграмме "Ящики с усами" представлены результаты измерений концентрации калия ( $K^+$ ) в почве на разных глубинах в зависимости от типа удобрения. Давайте подробно рассмотрим эту диаграмму. Ось абсцисс представляет глубину взятия образца почвы, измеренную в сантиметрах (см) с градацией: 0-25, 26-50, 51-75, 76-100 см. Ось ординат отображает

концентрацию калия ( $K^+$ ) в почве. Для наглядности каждый вариант эксперимента и контроль окрашены в разные цвета, указанные в легенде. Каждый ящик на диаграмме содержит следующую информацию.

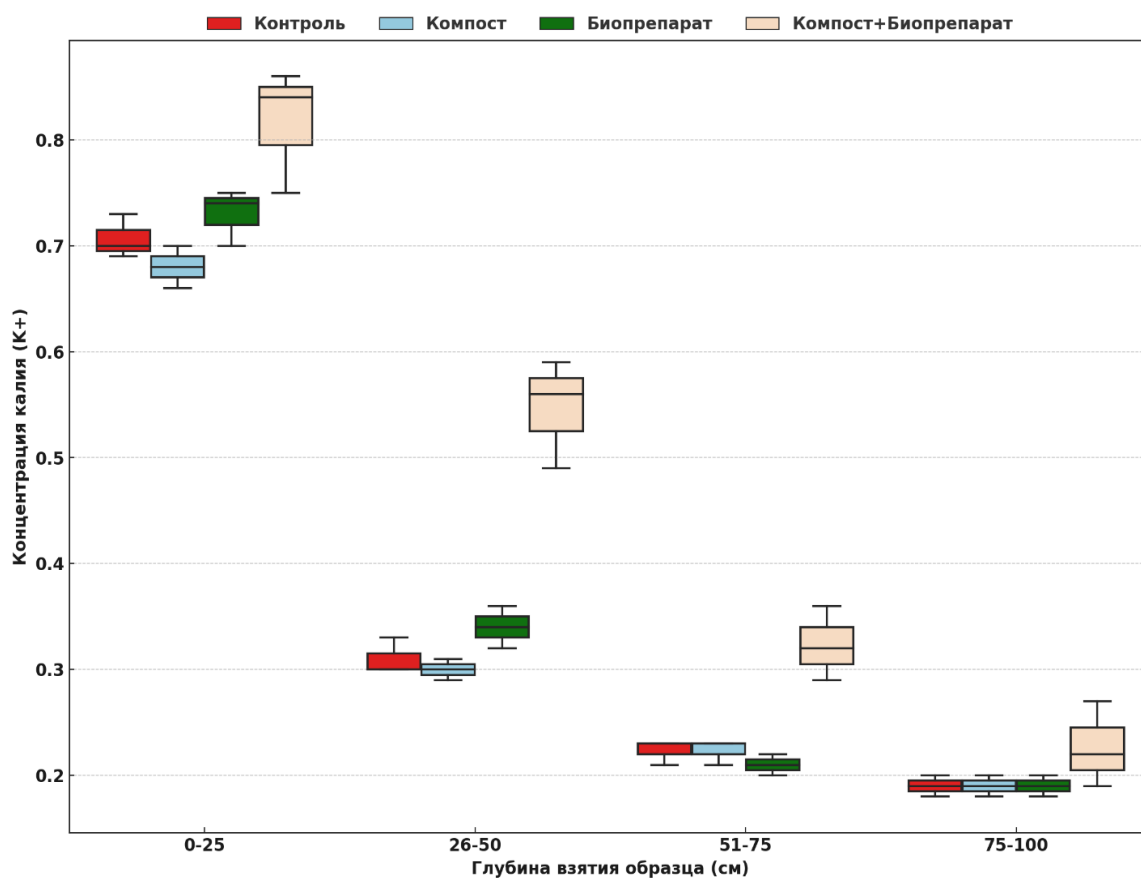


Рисунок 5.10. Ящики с усами распределения концентрации калия ( $K^+$ ) по вариантам опыта и глубине почвенного слоя

1. Центральная линия в ящике - это медиана данных (значение, ниже которого находятся 50% наблюдений).
2. Верхний и нижний края ящика: Первый и третий квартили, которые представляют собой 25-й и 75-й перцентили данных. Ящик охватывает межквартильный размах.
3. «Усы» - это линии, выходящие из верхней и нижней части ящика, простираются до минимума и максимума данных, за исключением выбросов.

Точки за пределами "усов" это выбросы, которые значительно отличаются от остальной части данных. В наших данных такого не наблюдается.

Подробный анализ концентрации калия по глубинам слоёв профиля почвы приведён в развёрнутой форме двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями (табл. 5.9).

Таблица 5.9. Результат двухфакторного дисперсионного анализа влияния на концентрацию калия ( $K^+$ ) биомелиорантов и глубины почвенного слоя

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат	
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	2,122	2,039	2,190	2,450	8,801
Среднее	0,707	0,679	0,730	0,816	0,733
Дисперсия	0,0004	0,0002	0,0007	0,0034	0,0037
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	0,932	0,900	1,019	1,64	4,491
Среднее	0,310667	0,300	0,339	0,546	0,374
Дисперсия	0,0002	9,1E-05	0,0004	0,0026	0,0116
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	0,666	0,665	0,631	0,97	2,932
Среднее	0,222	0,221	0,210	0,323	0,244
Дисперсия	0,0001	0,0001	0,0001	0,0012	0,0025
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	0,566	0,565	0,568	0,68	2,379
Среднее	0,188	0,188	0,189	0,227	0,198
Дисперсия	0,00011	8,93E-05	8,23E-05	0,0016	0,0006
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	4,286	4,169	4,408	5,740	-
Среднее	0,357	0,347	0,367	0,478	-
Дисперсия	0,0469	0,0420	0,0516	0,0579	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<b>Источник вариации</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F<sub>расч.</sub></b>	<b>F<sub>05/01</sub></b>

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат	
Вариант опыта	2,1138	3	0,70458	962,5	2,90/4,49
Глубина, см	0,1342	3	0,04474	61,1	2,90/4,49
Взаимодействие	0,0472	9	0,00525	7,2	2,19/2,98
Внутри	0,0234	<b>32</b>	<b>MSE=0,00073</b>		
Итого	2,1138	3			

Таблица 5.10. Оценка различий концентрации калия (K<sup>+</sup>) между вариантами опыта по слоям почвы на разной глубине

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	р-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,028	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,023	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Компост+ Биопрепарат	<b>0,109</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,050	0,059	>0,05	Нет
Компост	Компост+ Биопрепарат	<b>0,137</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	<b>0,087</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,011	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,029	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	<b>0,236</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,040	0,059	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	<b>0,247</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	<b>0,207</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Контроль	Компост	0,000	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,012	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	<b>0,101</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,011	0,059	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	<b>0,102</b>	0,059	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	<b>0,113</b>	<b>0,059</b>	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Контроль	Компост	0,000	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	-0,001	0,059	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	-0,038	0,059	>0,05	Нет
Компост	Биопрепарат	-0,001	0,059	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	-0,038	0,059	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	-0,037	0,059	>0,05	Нет

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,00073}{3}} = 0,059$$

Для описания динамики концентрации калия к третьему году выращивания люцерны по вариантам опыта построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину почвенного слоя и названия вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блоковые фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель предсказания концентрации калия вида:

$$\begin{aligned}
 K^+ = & \exp (-1,65988 + 0,00378X_1 - 0,02580X_2 + 0,17012X_3 - \\
 & - 0,18533 \ln GL + 1,02800 (\ln GL)^2 + 0,34621 (\ln GL)^3 + \\
 & + \ln GL \times (0,06365X_1 - 0,15133X_2 - 1,07672X_3) + (\ln GL)^2 \times \\
 & (-0,18943X_1 + 1,62197X_2 - 1,37233X_3) + (\ln GL)^3 \times (0,02240X_1 - \\
 & - 0,07484X_2 - 0,78809X_3)) \quad (3) \\
 R^2 = & 0,998; ES = \pm 0,4\%; F = 178,8 \text{ при } P < 0,05
 \end{aligned}$$

где:

$K^+$  – концентрация калия, мг/100 г;

$X_i$  – фиктивные переменные, кодирующие варианты опыта;

GL – нижняя граница почвенного слоя, м

Графическая интерпретация выявленных изменений концентрации калия с увеличением глубины почвы по вариантам опыта показана на рисунке 5.11. О точности предсказанных значений  $K^+$  можно судить по квадрату оценки адекватности. Если значения зависимой переменной по

опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. В этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.12). Верификация полученной модели представлена на рисунках 5.13 – 5.16 и также подтверждает факт того, что теоретические значения довольно точно предсказывают данные полевого опыта.

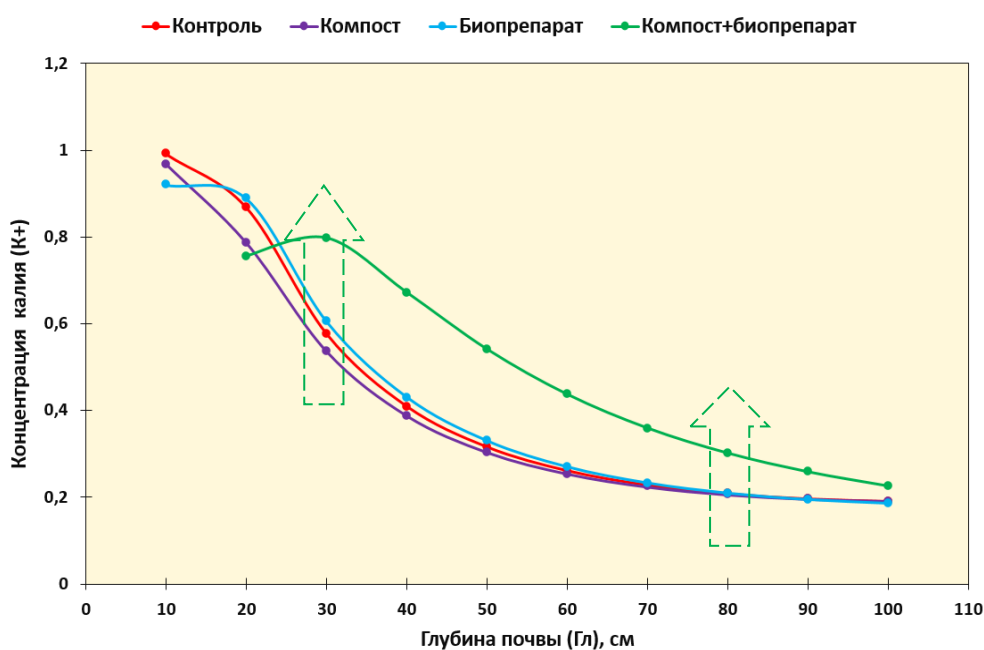


Рисунок 5.11. Графическая интерпретация модели (3) взаимосвязи средних значений концентрации калия с глубиной почвенного слоя по вариантам полевого опыта



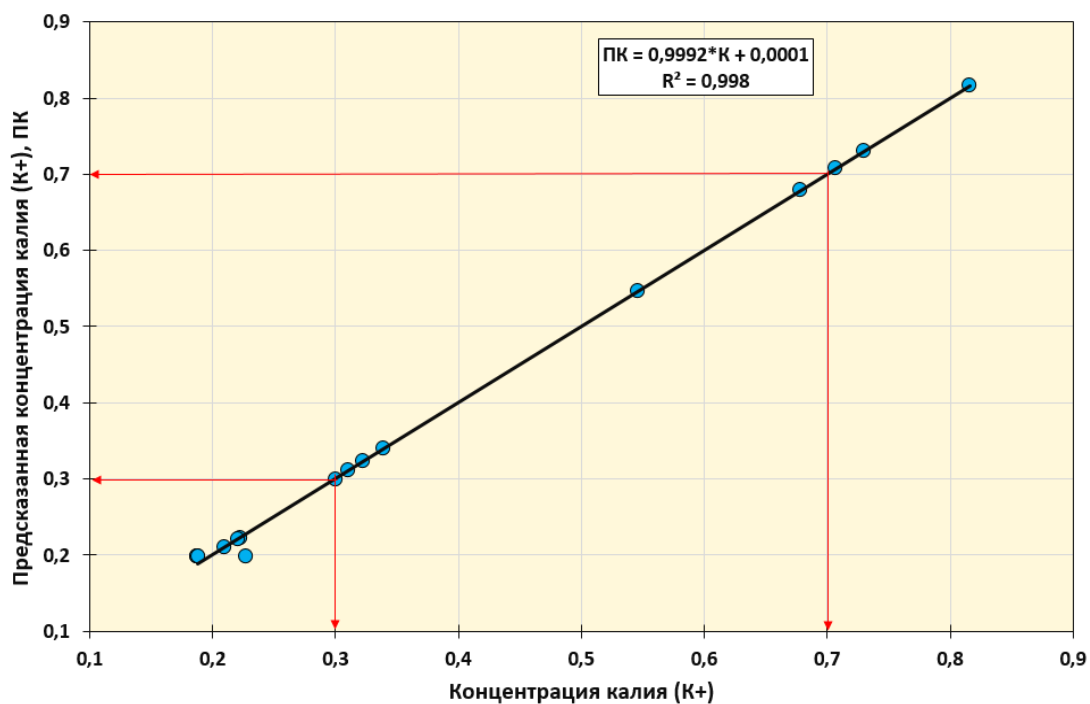


Рисунок 5.12. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (3)

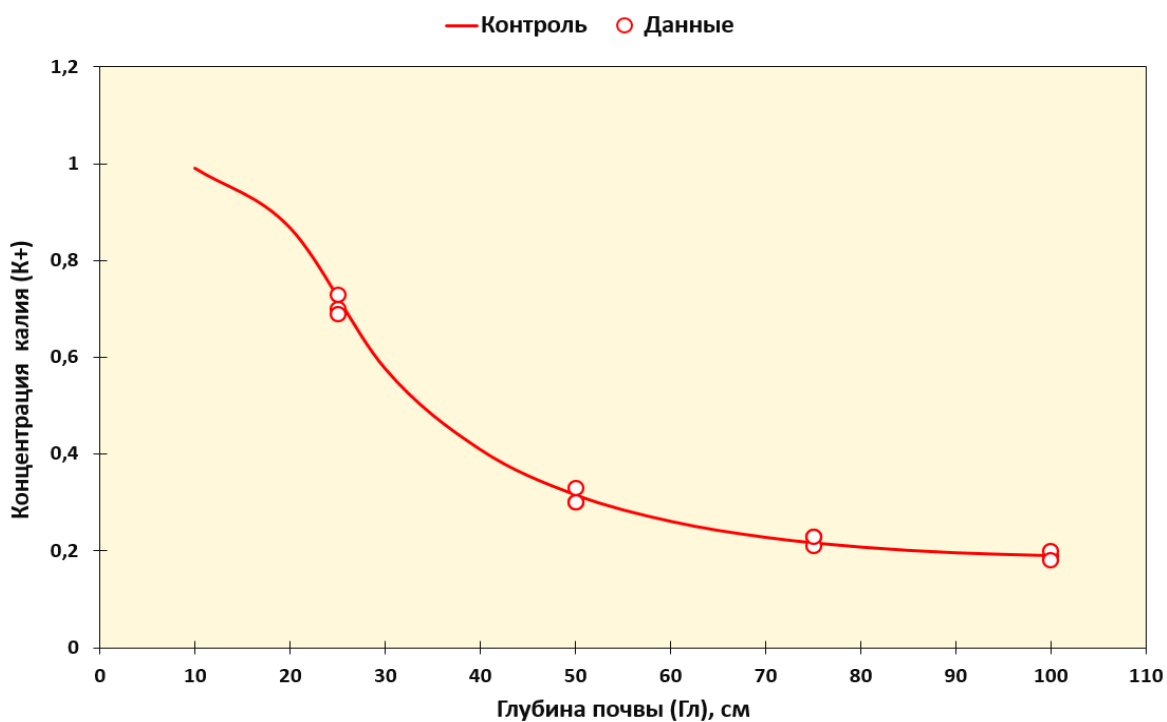


Рисунок 5.13. Верификация модели (3) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на контрольном варианте полевого опыта

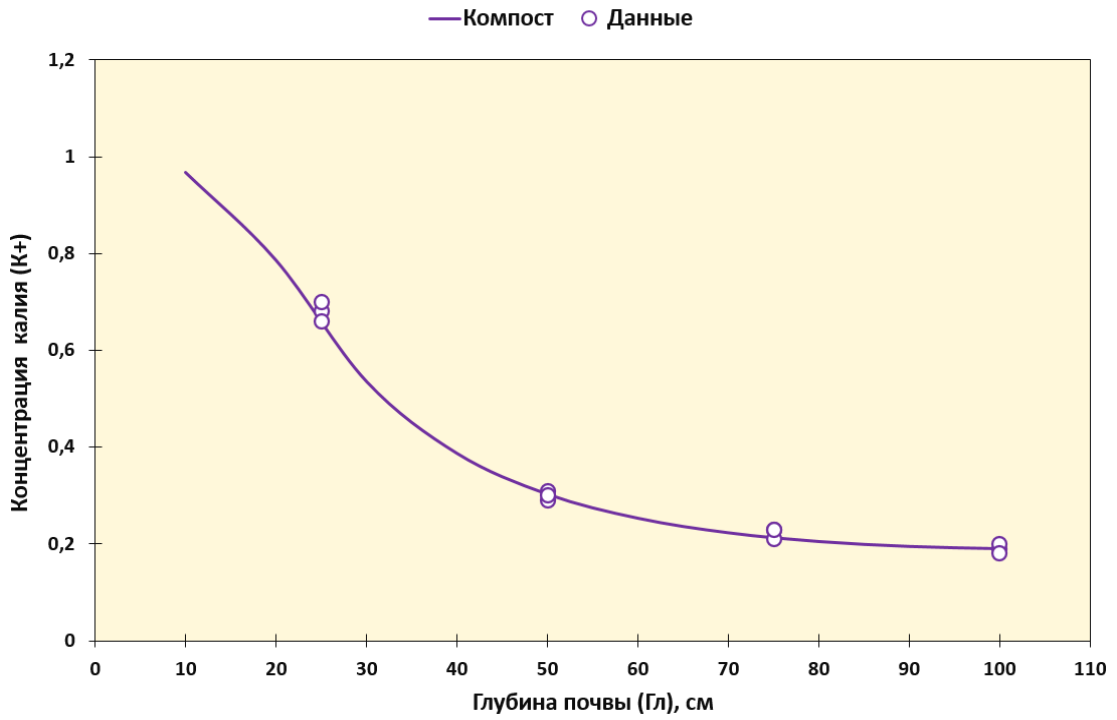


Рисунок 5.14. Верификация модели (3) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост»

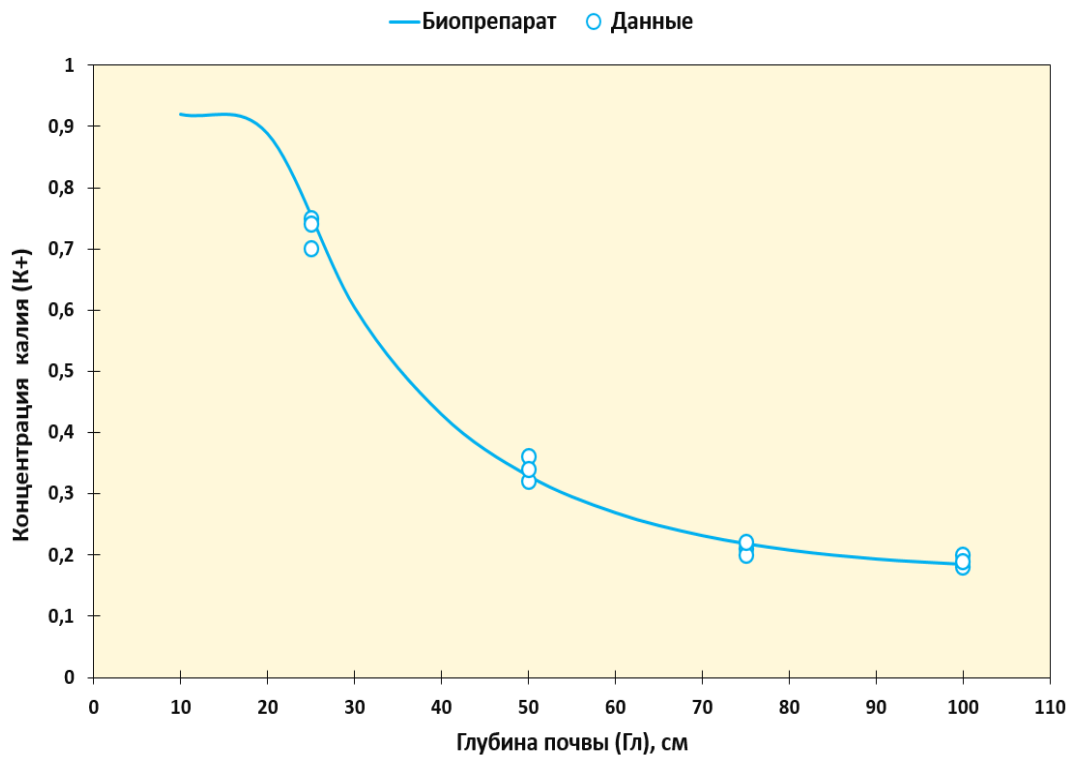


Рисунок 5.15. Верификация модели (3) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Биопрепарат»

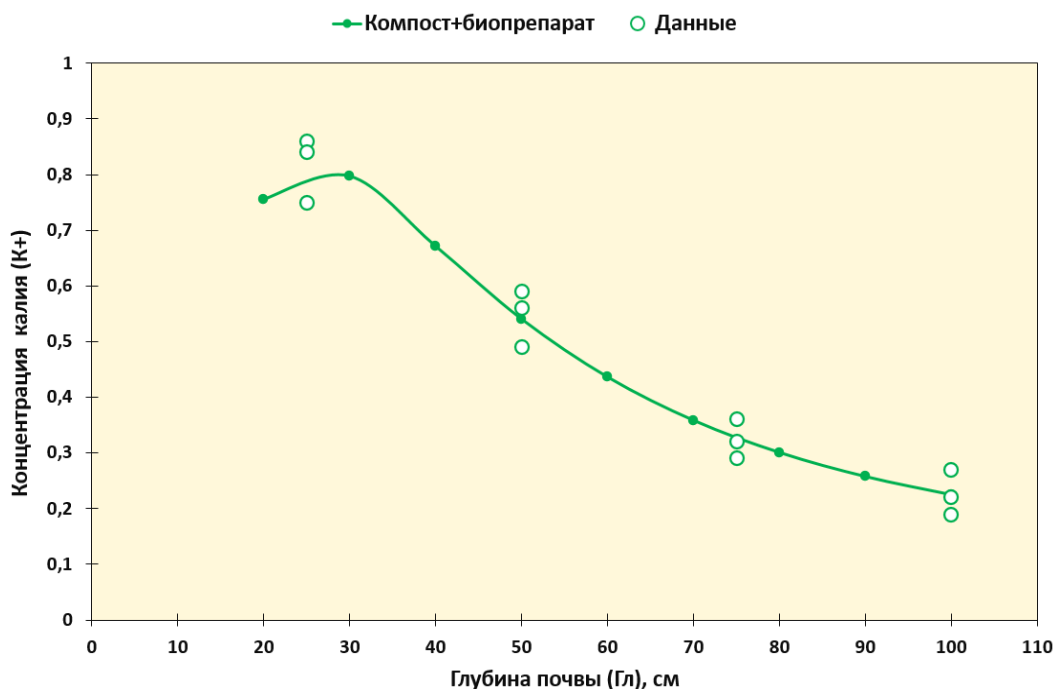


Рисунок 5.16. Верификация модели (3) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост+ биопрепарат»

По результатам статистического анализа были сформулированы следующие научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значение для научной и практической работы.

Концентрация калия в почвенных слоях значительно уменьшается с глубиной. В верхнем слое (0-25 см) зафиксированы наибольшие уровни калия, что связано с накоплением  $K^+$ , обусловленным взаимодействием с органическим веществом и биомелиорантами. В нижних слоях (76-100 см) содержание калия снижается, что указывает на его вымывание в глубину и уменьшение доступности для растений.

Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, способствует поддержанию повышенной концентрации калия на всех уровнях почвенного профиля. Комбинация компоста с биопрепаратами

показывает наиболее выраженный результат, при котором концентрация калия остаётся выше, чем на контроле. Это свидетельствует о способности биомелиорантов сохранять калий в почве, улучшая её химические свойства и обеспечивая доступность элемента для растений.

Биомелиоранты влияют на поддержание калия в почве, повышая её микробную активность и улучшая структуру. Компост, благодаря замедленному разложению органики, способствует сохранению калия в верхних слоях, улучшая их влагоудерживающие свойства. Биопрепараты с полезными бактериальными штаммами усиливают биохимические процессы, поддерживая стабильный уровень калия, особенно в верхних горизонтах почвы, где располагается корневая система растений.

Данные анализа подтверждают, что на содержание калия в значительной степени влияет тип биомелиоранта. Наиболее заметный рост концентрации калия наблюдается при комбинированном использовании компоста и биопрепаратов, что указывает на их синергетический эффект. Такое увеличение концентрации калия в верхних слоях оказывает решающее значение для плодородия и поддержания питательных условий для растений.

Результаты подчёркивают важность использования биомелиорантов для повышения уровня калия в почве, особенно в засушливых условиях. Высокая концентрация калия в верхних слоях улучшает питание растений и их устойчивость к стрессам, что способствует повышению урожайности таких культур, как люцерна, особенно в условиях засоления почв.

Комбинированное использование компоста и биопрепаратов является эффективной мерой повышения содержания калия в почве, особенно в её верхних слоях. Этот подход демонстрирует значимость комплексной мелиорации для поддержания устойчивых и продуктивных сельскохозяйственных систем в засоленных аридных зонах. Полученные данные открывают перспективы для использования биомелиорантов в

сельском хозяйстве для повышения плодородия и устойчивости почвенных экосистем.

### *Динамики концентрации кальция по глубине почвы*

Засоление почвы является одной из серьёзных проблем в сельском хозяйстве, существенно ограничивающей продуктивность сельскохозяйственных угодий. Для улучшения состояния засоленных почв используются различные биомелиоранты, такие как компост и биопрепараты на основе штаммов бактерий. В данном разделе приводятся результаты статистического анализа воздействия различных биомелиорантов на концентрацию кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) в почвах на разных глубинах. Представленные данные можно найти в таблице 5.11, а их первичная визуализация проведена с помощью «Ящичков с усами» (рис. 5.17). Исследование проводилось на опытных участках, где почва обрабатывалась по четырём вариантам: контроль (без мелиорантов), компост, биопрепарат и комбинация компоста и биопрепарата. Концентрация кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) в почве измерялась на глубинах: 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см и 76-100 см.

На диаграмме "Ящички с усами" представлены результаты измерений концентрации кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) в почве на разных глубинах в зависимости от типа мелиоранта. Каждый ящик на диаграмме содержит следующую информацию:

1. Центральная линия в ящике - медиана данных (значение, ниже которого находятся 50% наблюдений).

2. Верхний и нижний края ящика - первый и третий квартили, которые представляют собой 25-й и 75-й перцентили данных. Ящик охватывает межквартильный размах (IQR).

3. "Усы" - линии, выходящие из верхней и нижней части ящика, простираются до минимума и максимума данных, за исключением выбросов.

4. Точки за пределами "усов" - выбросы, которые значительно отличаются от остальной части данных.

Таблица 5.11. Данные концентрации кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) по вариантам опыта на разной глубине почвы

Глубина слоя почвы, см	Варианты опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат
0-25	10,69	10,94	11,28	14,20
0-25	10,71	10,95	11,30	14,76
0-25	10,72	10,99	11,32	13,95
26-50	11,29	11,42	11,67	12,42
26-50	11,34	11,39	11,74	12,50
26-50	11,28	11,40	11,69	12,90
51-75	11,94	11,89	11,87	11,55
51-75	11,96	11,91	11,96	11,36
51-75	11,98	11,90	11,91	11,64
76-100	18,21	18,19	18,27	18,10
76-100	18,19	18,20	18,29	18,54
76-100	18,22	18,22	18,28	18,21

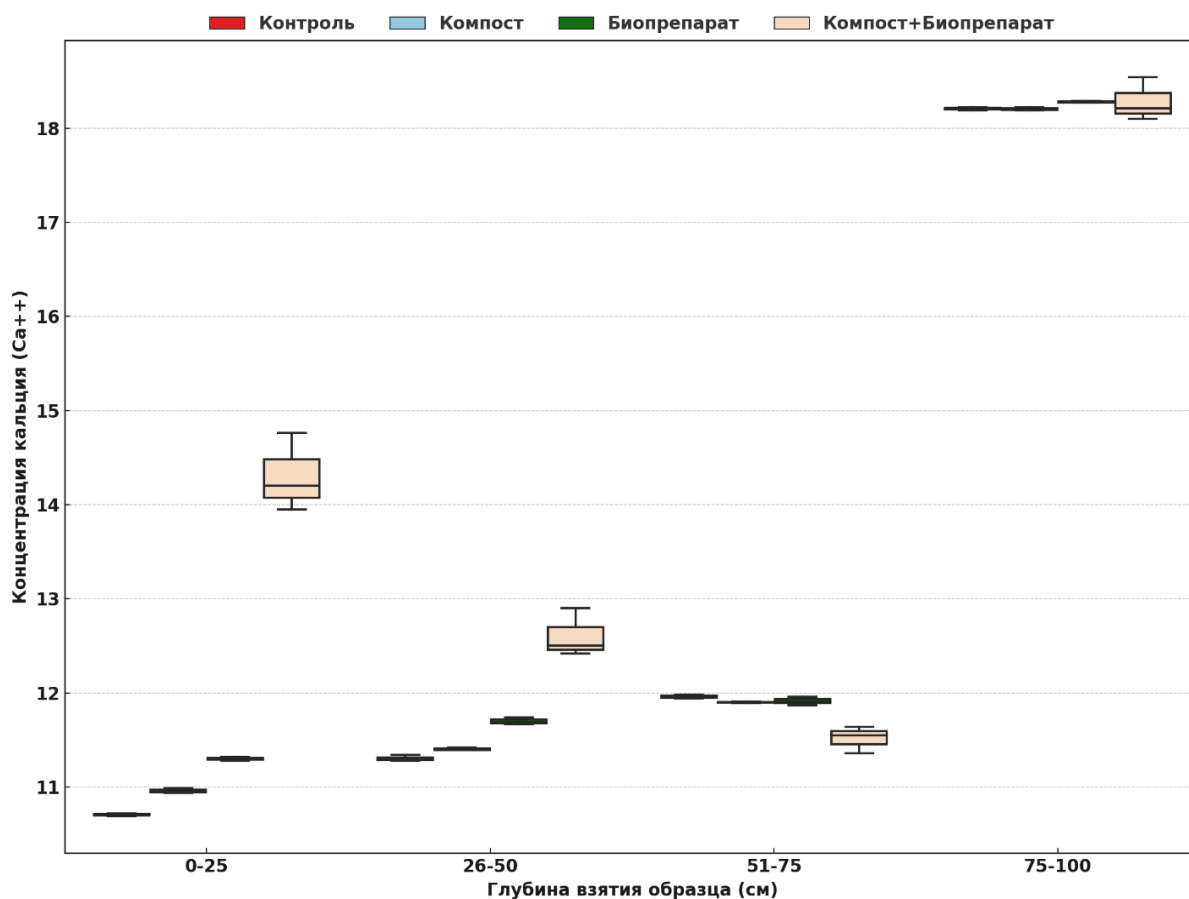


Рисунок 5.17. Ящики с усами распределения концентрации кальция ( $\text{Ca}^{++}$ ) по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы

Таблица 5.12. Результат двухфакторного дисперсионного анализа влияния на концентрацию кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) биомелиорантов и глубины почвенного слоя

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат	
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	32,1200	32,8800	33,9000	42,9100	141,8100
Среднее	10,7067	10,9600	11,3000	14,3033	11,8175
Дисперсия	0,0002	0,0007	0,0004	0,1720	2,3269
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат	
Сумма	33,9100	34,2100	35,1000	37,8200	141,0400
Среднее	11,3033	11,4033	11,7000	12,6067	11,7533
Дисперсия	0,0010	0,0002	0,0013	0,0661	0,3005
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	35,8800	35,7000	35,7400	34,5500	141,8700
Среднее	11,9600	11,9000	11,9133	11,5167	11,8225
Дисперсия	0,0004	0,0001	0,0020	0,0204	0,0387
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	54,6200	54,6100	54,8400	54,8500	218,9200
Среднее	18,2067	18,2033	18,2800	18,2833	18,2433
Дисперсия	0,0002	0,0002	0,0001	0,0524	0,0112
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	156,5300	157,4000	159,5800	170,1300	-
Среднее	13,0442	13,1167	13,2983	14,1775	-
Дисперсия	9,9061	9,5296	9,0779	7,2623	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<b>Источник вариации</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F<sub>расч.</sub></b>	<b>F<sub>05/01</sub></b>
Вариант опыта	373,9424	3	124,6475	6270,91	2,90/4,49
Глубина, см	9,8568	3	3,2856	165,30	2,90/4,49
Взаимодействие	18,9583	9	2,1065	105,98	2,19/2,98
Внутри	0,6361	32	<b>MSE=0,0199</b>		
Итого		47			



Таблица 5.13. Оценка различий концентрации кальция ( $Ca^{2+}$ ) между вариантами опыта по слоям почвы на разной глубине

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	$HCP_{05}$	p-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,253	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,593	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+ Биопрепарат	3,596	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,340	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+ Биопрепарат	3,343	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	3,003	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,100	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,396	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	1,303	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,296	0,309	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	1,203	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,906	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 51-75см</b>					
Контроль	Компост	0,060	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,046	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,443	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,013	0,309	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,383	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,396	0,309	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Контроль	Компост	0,003	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,073	0,309	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,076	0,309	>0,05	Нет
Компост	Биопрепарат	0,076	0,309	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,080	0,309	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,003	0,309	>0,05	Нет

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,0199}{3}} = 0,309$$

Для описания динамики электропроводности к третьему году выращивания люцерны по вариантам опыта построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину почвенного слоя и

названия вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель предсказания концентрации кальция вида:

$$Ca^{2+} = \exp (2,90380 + 2,31240 \ln GL + 3,29478 (\ln GL)^2 + 1,37356 (\ln GL)^3 + \ln GL \times (0,06410 X_2 + 0,42626 X_3) + (\ln GL)^2 \times (0,01240 X_1 + 0,24819 X_2 + 1,21999 X_3) + (\ln GL)^3 \times (0,12535 X_2 + 0,54944 X_3) \quad (4)$$

$$R^2 = 0,999; ES = \pm 0,02\%; F = 7951,9 \text{ при } P < 0,05$$

$$t = | 7951,9; 2048,6; 132,0; 84,9; 70,4; 2,4; 15,8; 6,1; 3,9; 19,1; 3,8; 16,9 |$$

где:

$Ca^{2+}$  – концентрация кальция, мг/100 г;

$X_i$  – фиктивные переменные, кодирующие варианты опыта;

GL – нижняя граница почвенного слоя, м

Графическая интерпретация выявленных изменений электропроводности с увеличением глубины почвы по вариантам опыта показана на рисунке 5.18. О точности предсказанных значений  $Ca^{++}$  можно судить по квадрату оценки адекватности. Если значения зависимой переменной по опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. Этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.19). Верификация полученной модели представлена на рисунках 5.20 - 5.23 и также подтверждает факт того, что теоретические значения довольно точно отображают данные полевого опыта.

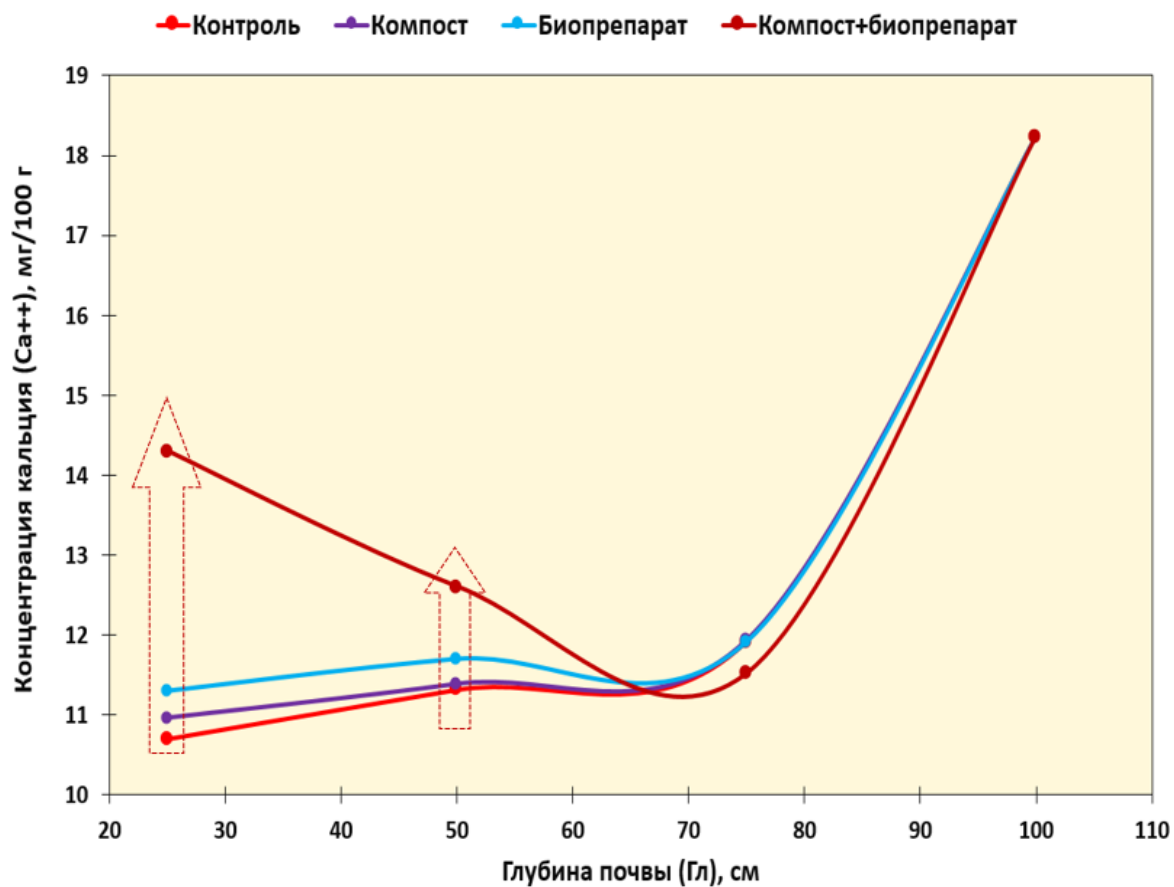


Рисунок 5.18. Графическая интерпретация модели (4) взаимосвязи средних значений концентрации кальция с глубиной почвенного слоя по вариантам полевого опыта

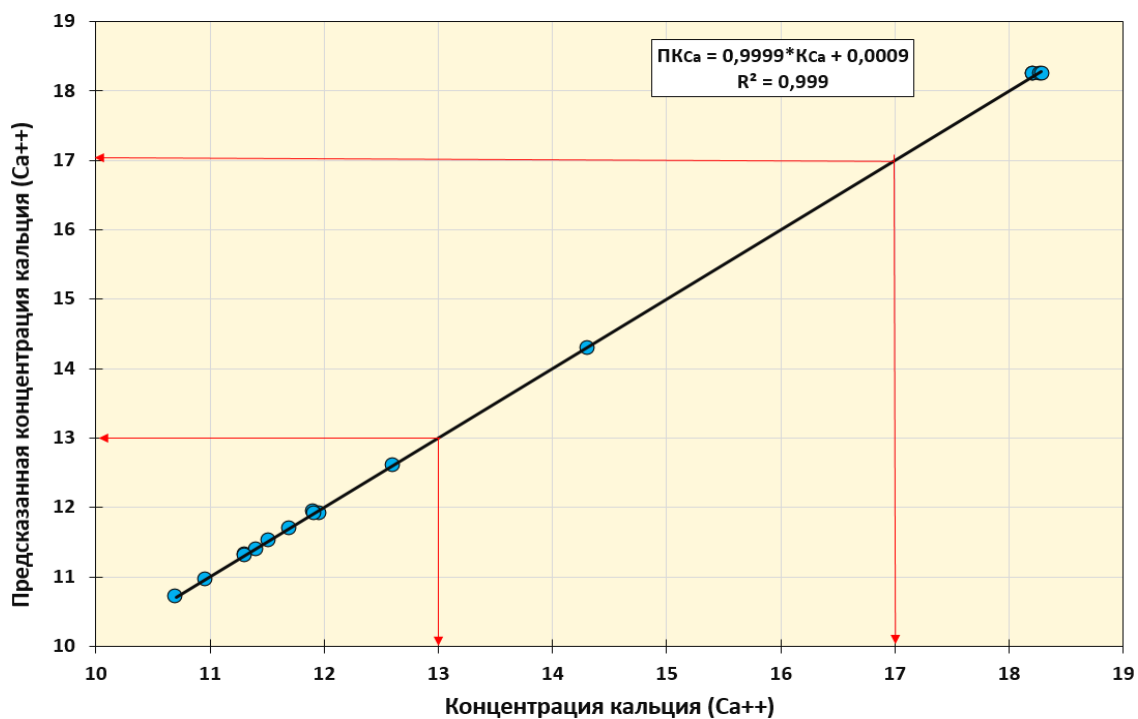


Рисунок 5.19. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (4)

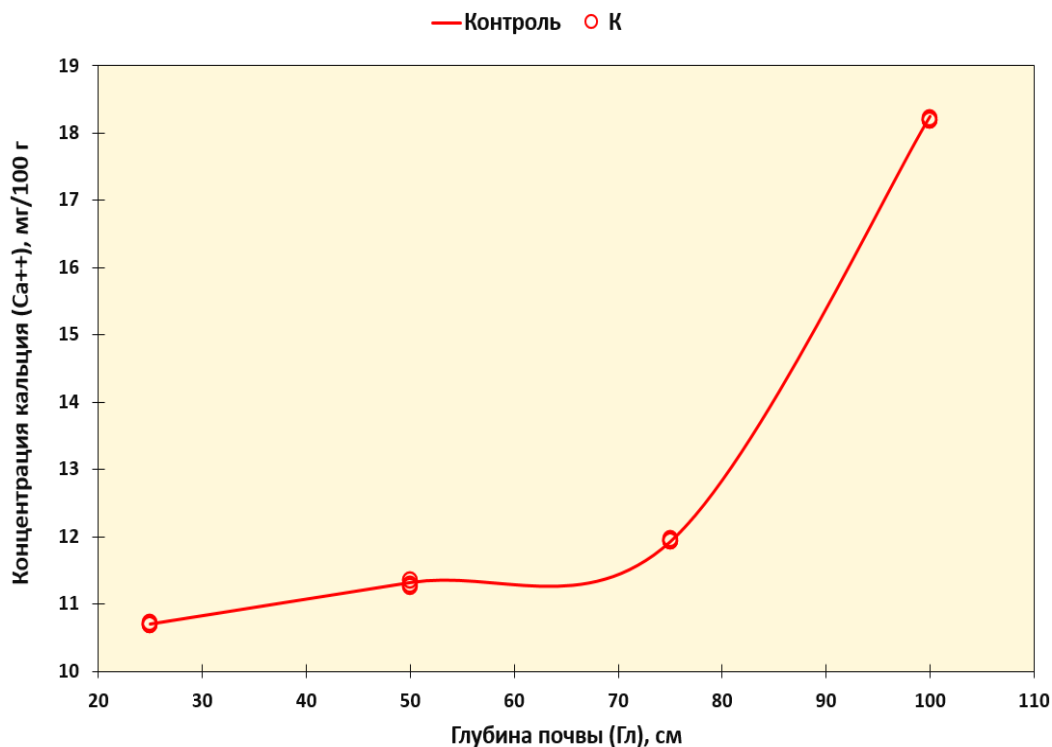


Рисунок 5.20. Верификация модели (4) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на контрольном варианте полевого опыта

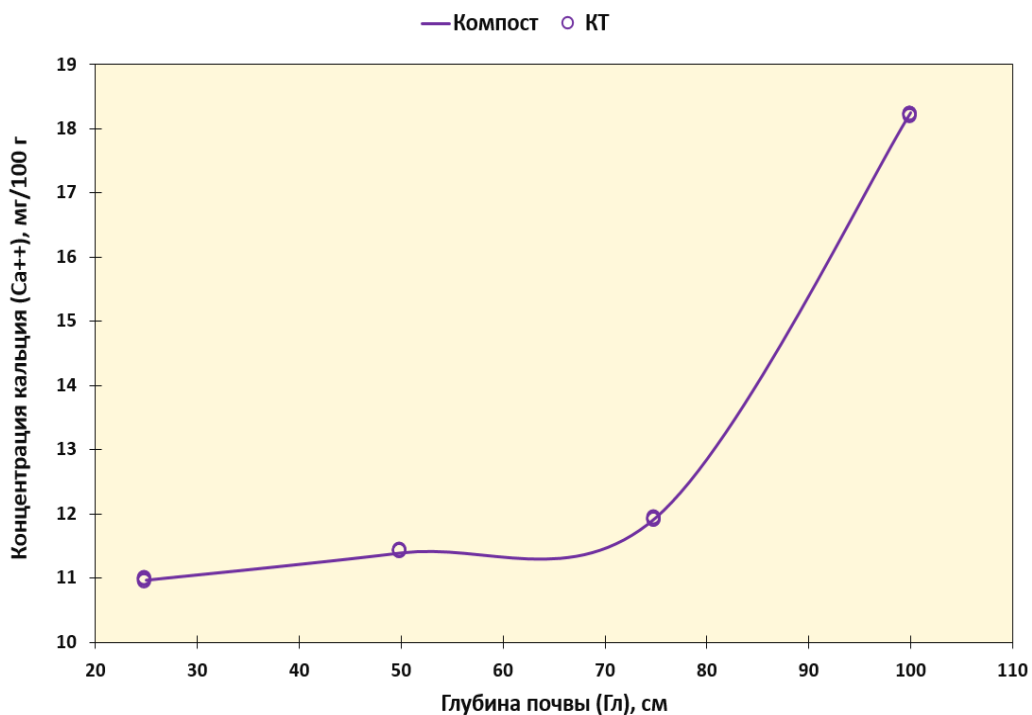


Рисунок 5.21. Верификация модели (4) взаимосвязи концентрации калия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост»

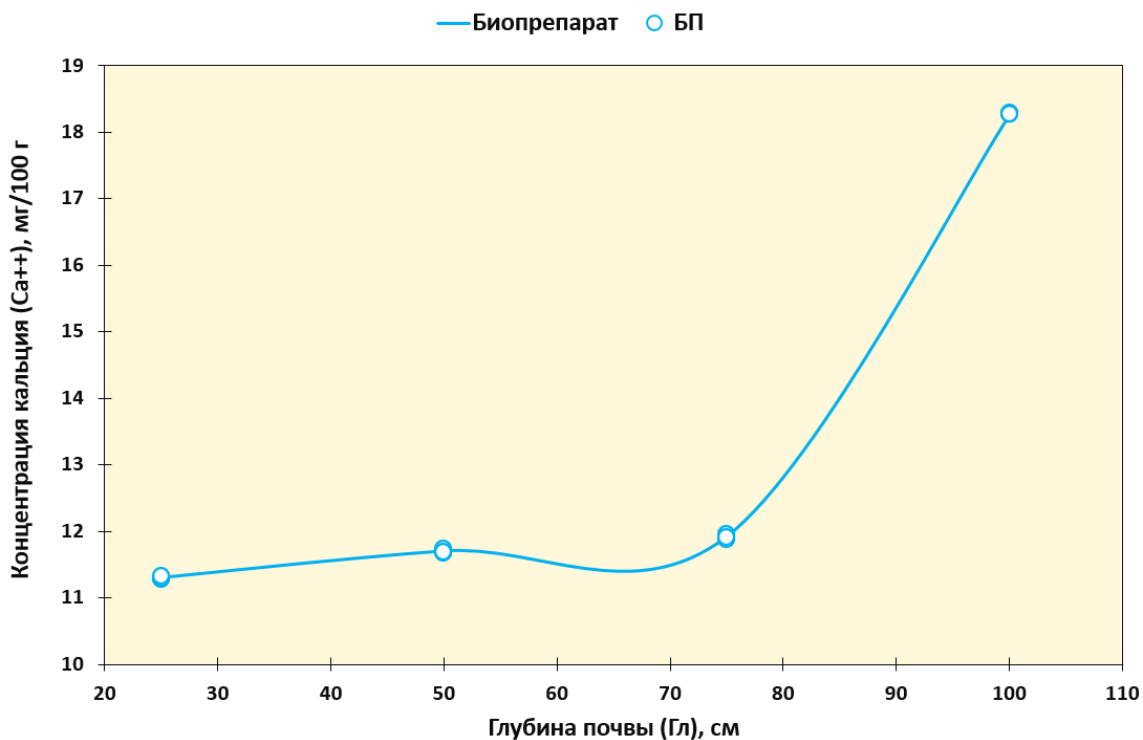


Рисунок 5.22. Верификация модели (4) взаимосвязи концентрации кальция с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Биопрепарат»

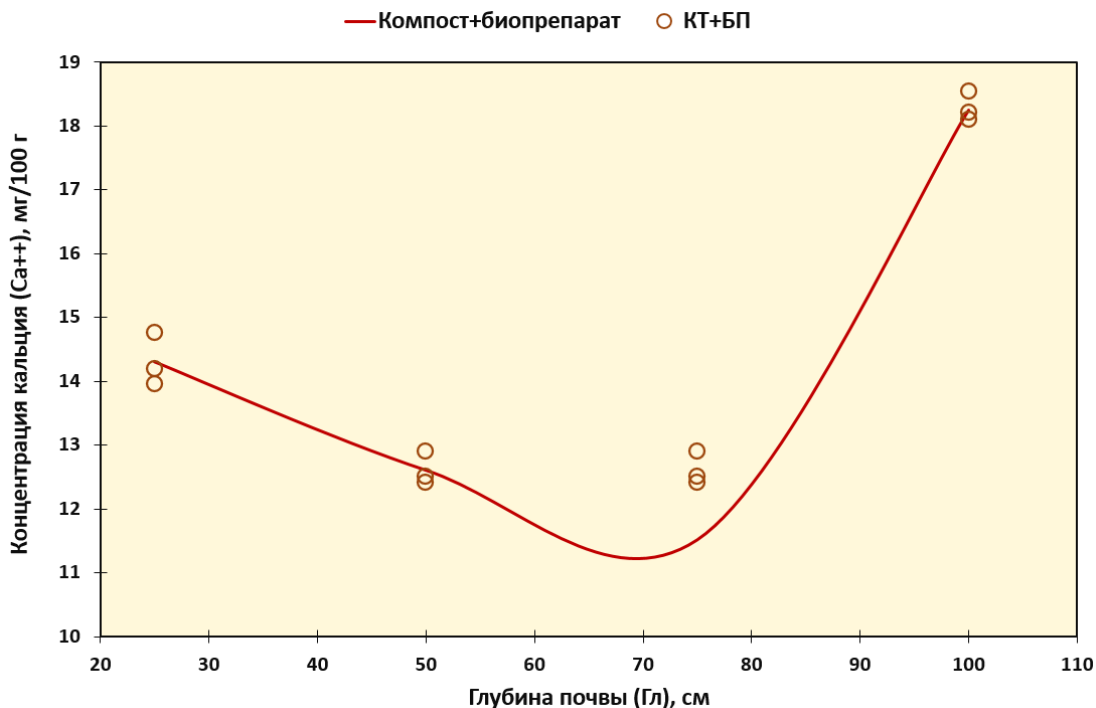


Рисунок 5.23. Верификация модели (4) взаимосвязи концентрации кальция с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост+Биопрепарат»

По результатам статистического анализа были сформулированы следующие научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значение для научной и практической работы.

Содержание кальция в почве варьируется в зависимости от глубины. В верхнем слое (0–25 см) кальций присутствует в высокой концентрации, но его уровень постепенно снижается до глубины 51–75 см и снова возрастает на глубине 76–100 см. Данный феномен обусловлен вымыванием кальция из верхних горизонтов и его накоплением в глубоких слоях почвы, где активность биомелиорантов ослабляется, что препятствует дальнейшему вымыванию элемента.

Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, оказывает значительное влияние на содержание кальция в почве. Наибольшая концентрация кальция наблюдается при комбинированном применении компоста и биопрепаратов, особенно в верхнем слое. Этот результат указывает на синергетический эффект данных веществ, который способствует сохранению кальция и улучшению его распределения в почвенном профиле.

Биомелиоранты улучшают физико-химические характеристики почвы, способствуя удержанию кальция. В частности, компост повышает содержание органического вещества, что укрепляет почвенную структуру и замедляет вымывание кальция. Биопрепараты, содержащие штаммы бактерий, способствуют мобилизации кальция, делая его более доступным для растений, особенно в верхних слоях. Эти процессы стабилизируют концентрацию кальция, что положительно влияет на рост растений.

Результаты анализа показывают, что на содержание кальция в значительной мере влияют тип биомелиоранта и глубина почвенного слоя. Совместное применение компоста и биопрепаратов приводит к значительному увеличению содержания кальция, особенно в верхнем слое, что подчёркивает важность комплексного подхода к мелиорации. Такая

комбинация биомелиорантов помогает поддерживать оптимальные уровни кальция, что необходимо для поддержания плодородия и стабильного обеспечения растений питательными веществами.

Результаты исследования подчёркивают важность использования биомелиорантов для повышения содержания кальция в почве в условиях аридного климата. Высокий уровень кальция в верхних слоях почвы способствует здоровому росту культур, таких как люцерна, и повышает продуктивность сельскохозяйственных угодий. Таким образом, биомелиоранты представляют собой перспективное средство для устойчивого развития сельского хозяйства в засоленных зонах.

Совместное использование компоста и биопрепаратов представляет собой эффективный подход к увеличению содержания кальция в почве, особенно в верхних слоях, что способствует устойчивому развитию сельского хозяйства в условиях засоленности. Эти результаты подчёркивают значимость комплексной мелиорации для повышения плодородия почвы и поддержания агроэкосистем, устойчивых к неблагоприятным условиям.

### *Динамики концентрации магния по глубине почвы*

Засоление почвы является одной из основных проблем в сельском хозяйстве, значительно ограничивающей продуктивность сельскохозяйственных земель. Для улучшения состояния засоленных почв используются различные биомелиоранты, такие как компост и биопрепараты на основе бактериальных штаммов. В данном разделе представлены результаты статистического анализа влияния различных биомелиорантов на концентрацию магния ( $Mg^{2+}$ ) в почве на разной глубине.

Исследование проводилось на опытных участках, где почва обрабатывалась по четырём вариантам: контроль (без мелиорантов), компост, биопрепарат и комбинация компоста и биопрепарата.

Таблица 5.14. Данные концентрации магния ( $Mg^{2+}$ ) по вариантам опыта на разной глубине почвы

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат
0-25	4,72	4,74	4,90	5,85
0-25	4,71	4,68	4,89	5,81
0-25	4,64	4,69	4,91	5,45
26-50	4,57	4,62	4,99	5,10
26-50	4,61	4,61	5,01	5,40
26-50	4,56	4,63	5,00	4,80
51-75	5,42	5,74	5,48	5,90
51-75	5,43	5,71	5,51	5,71
51-75	5,44	5,71	5,52	5,81
76-100	5,97	5,89	6,12	6,75
76-100	5,95	5,91	5,99	6,35
76-100	5,96	5,93	6,20	6,11

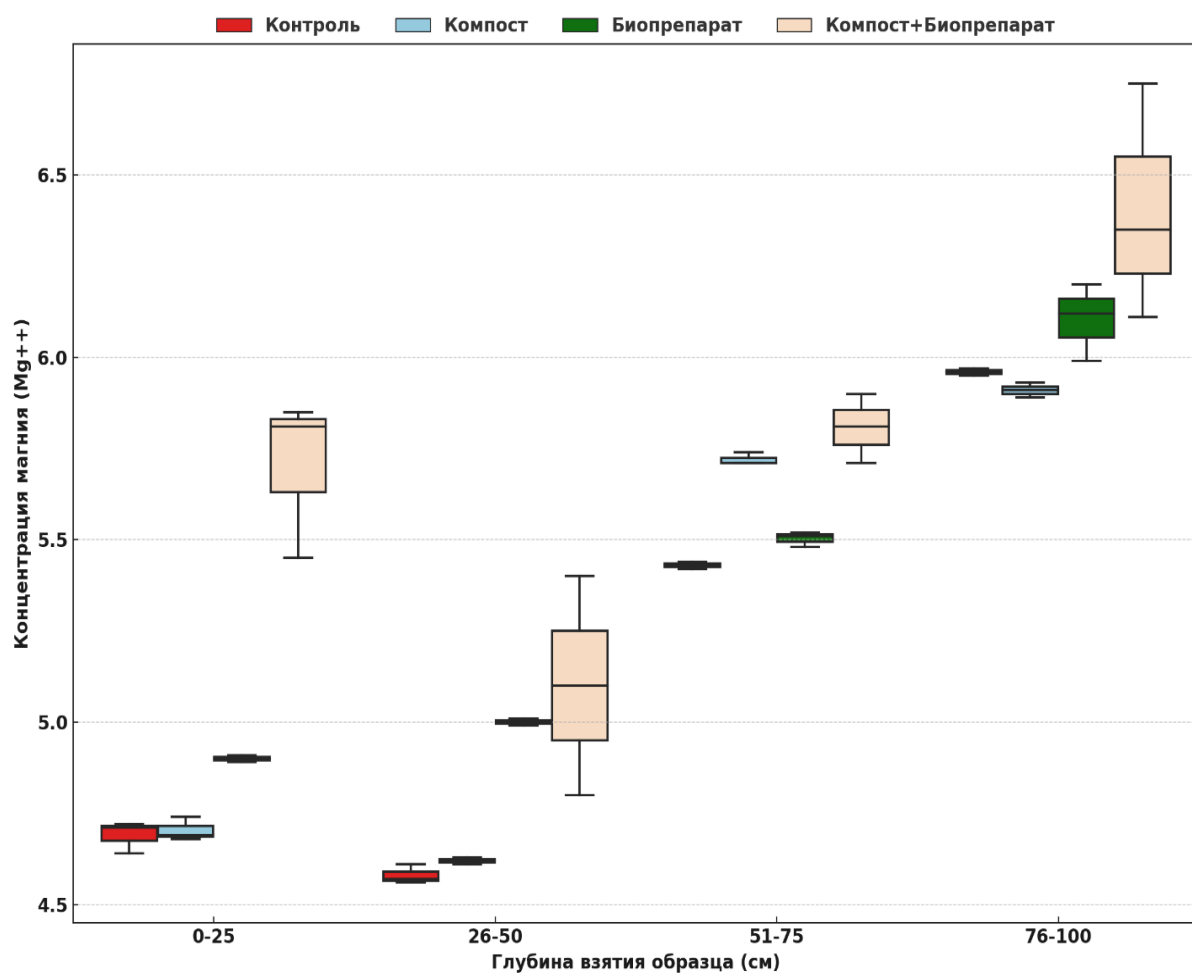




Рисунок 5.24. Ящики с усами распределения магния ( $Mg^{++}$ ) по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы

На представленной диаграмме "Ящики с усами" показаны данные по концентрации магния ( $Mg^{2+}$ ) в почве на разных глубинах при использовании различных типов мелиорантов. Концентрация магния ( $Mg^{2+}$ ) в почве измерялась на глубинах 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см и 76-100 см. В таблице 5.14 представлены числовые данные, использованные для анализа, а на рисунке 5.24 визуализированы основные тенденции и распределение данных.

Такой подход позволяет не только оценить влияние биомелиорантов, но и наглядно представить изменения, которые важны для дальнейшего применения.

Таблица 5.15. Результат двухфакторного дисперсионного анализа влияния на концентрацию магния ( $Mg^{2+}$ ) биомелиорантов и глубины почвенного слоя

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат	
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	14,0700	14,1100	14,7000	17,1100	59,9900
Среднее	4,6900	4,7033	4,9000	5,7033	4,9992
Дисперсия	0,0019	0,0010	0,0001	0,0485	0,1972
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	13,7400	13,8600	15,0000	15,3000	57,9000
Среднее	4,5800	4,6200	5,0000	5,1000	4,8250
Дисперсия	0,0007	0,0001	0,0001	0,0900	0,0733
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	16,2900	17,1600	16,5100	17,4200	67,3800
Среднее	5,4300	5,7200	5,5033	5,8067	5,6150
Дисперсия	0,0001	0,0003	0,0004	0,0090	0,0276
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	17,8800	17,7300	18,3100	19,2100	73,1300
Среднее	5,9600	5,9100	6,1033	6,4033	6,0942
Дисперсия	0,0001	0,0004	0,0112	0,1045	0,0614

Показатели	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат	
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	61,9800	62,8600	64,5200	69,0400	-
Среднее	5,1650	5,2383	5,3767	5,7533	-
Дисперсия	0,3469	0,3690	0,2512	0,2789	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F<sub>расч.</sub></i>	<i>F<sub>05/01</sub></i>
Вариант опыта	12,2193	3	4,0731	242,63	2,90/4,49
Глубина, см	2,4677	3	0,8226	49,00	2,90/4,49
Взаимодействие	0,9497	9	0,1055	6,29	2,19/2,98
Внутри	0,5372	32	<b>MSE = 0,0168</b>	-	-
Итого	16,1739	-	-	-	-

Таблица 5.16. Оценка различий концентрации магния ( $Mg^{2+}$ ) между вариантами опыта по слоям почвы на разной глубине

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	p-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,013	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,210	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Компост+ Биопрепарат	1,013	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,197	0,284	>0,05	Нет
Компост	Компост+ Биопрепарат	1,000	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	0,803	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,040	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,420	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,520	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,380	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+Биопрепарат	0,480	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,100	0,284	<0,05	Нет
<b>Глубина 51-75см</b>					
Контроль	Компост	0,290	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,073	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,377	0,284	<0,05	<b>Есть</b>

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	p-значение	Различия
Компост	Биопрепарат	0,217	0,284	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,087	0,284	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,303	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Глубина 76-100 см					
Контроль	Компост	0,050	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Биопрепарат	0,143	0,284	>0,05	Нет
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,443	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,193	0,284	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,493	0,284	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,300	0,284	>0,05	Нет

$$НСР_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,0168}{3}} = 0,284$$

Для описания динамики концентрации магния в почве ( $Mg^{2+}$ ) к третьему году выращивания люцерны по вариантам опыта построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину почвенного слоя и названия вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель предсказания концентрации магния вида:

$$Mg^{2+} = \exp (1,782154 + 0,026135X_2 + 0,071553X_3 + 0,227816 \ln GL - 0,45759(\ln GL)^2 - 0,35961(\ln GL)^3 + \ln GL \times (-0,41258X_1 + 0,182862X_2) + (\ln GL)^2 \times (-0,86819X_1 + 0,632532X_2 + 0,064683X_3) + (\ln GL)^3 \times (-0,41254X_1 + 0,354337X_2)) \quad (5)$$

$$R^2 = 0,999; ES = \pm 0,05\%; F = 449,6 \text{ при } P < 0,05$$

$$t = |477,8; 3,8; 14,5; 6,1; 5,6; 8,9; 7,2; 2,7; 6,6; 4,4; 12,5; 6,1; 5,0| > t_{05} = 1,96$$

где:

$Mg^{2+}$  – концентрация калия, мг/100 г;

$X_i$  – фиктивные переменные, кодирующие варианты опыта;

GL– глубина нижней границы почвенного слоя, м

Графическая интерпретация выявленных изменений концентрации магния с увеличением глубины почвы по вариантам опыта показана на рисунке 5.25. О точности предсказанных значений  $Mg^{2+}$  можно судить по квадрату оценки адекватности. Если значения зависимой переменной по опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. В этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.26).

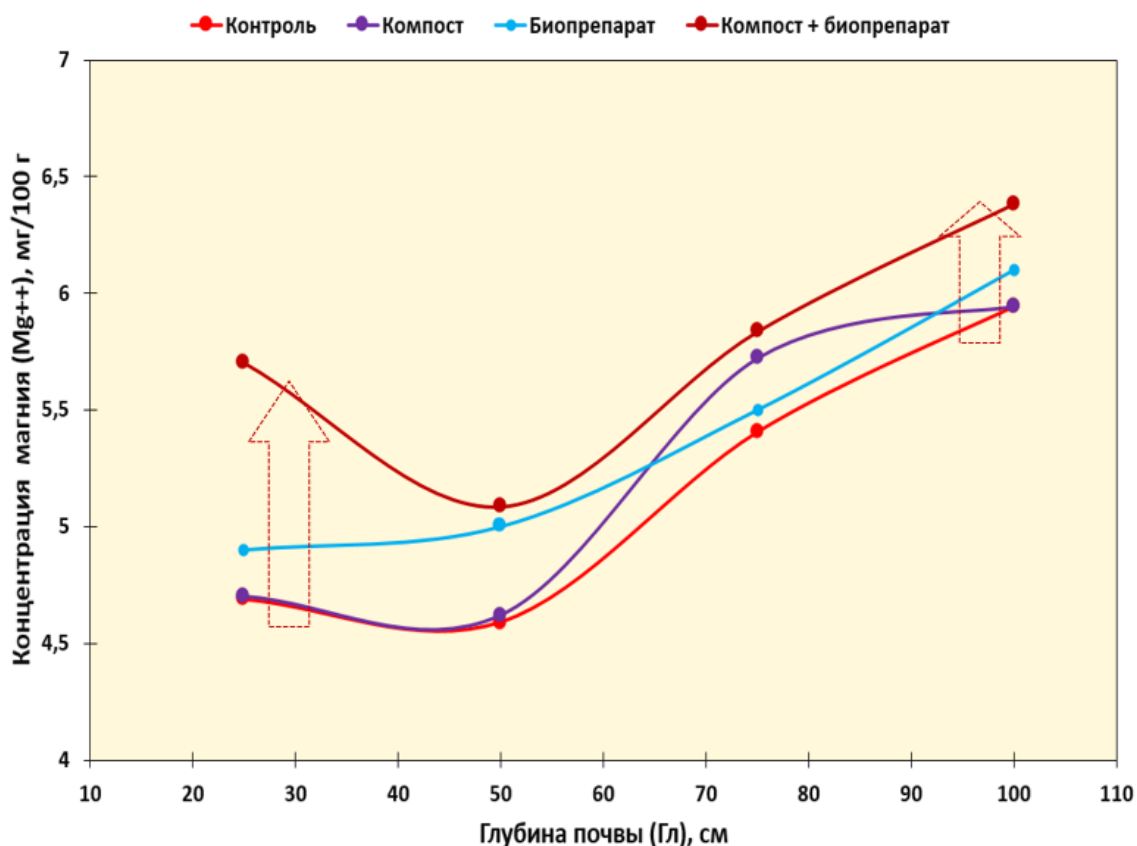


Рисунок 5.25. Графическая интерпретация модели (5) взаимосвязи средних значений концентрации магния с глубиной почвенного слоя по вариантам

ПОЛЕВОГО ОПЫТА

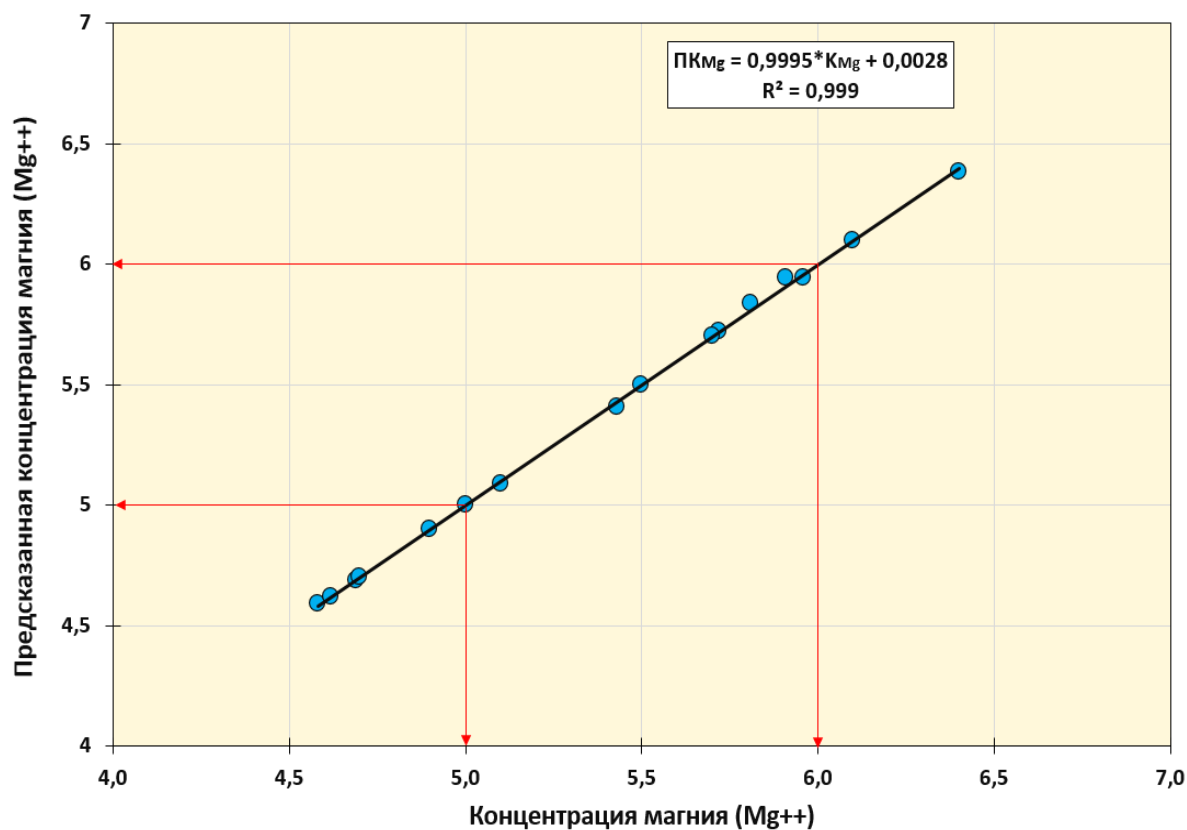


Рисунок 5.26. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (5)

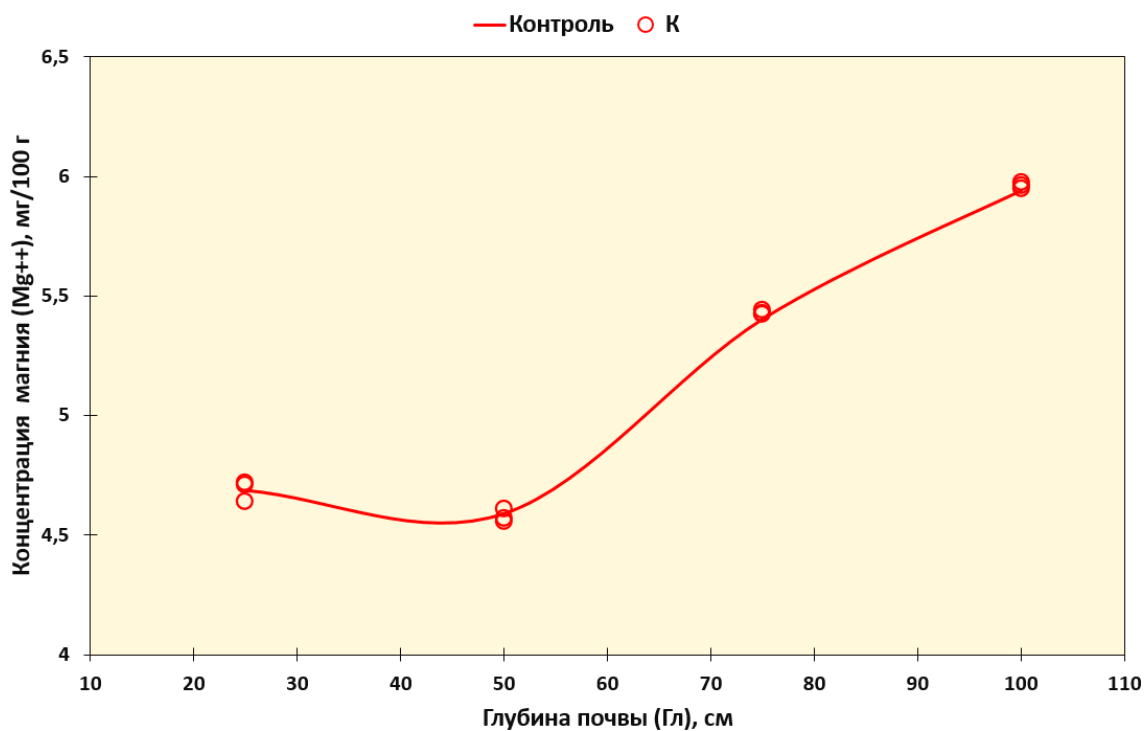


Рисунок 5.27. Верификация модели (5) взаимосвязи концентрации магния с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на контрольном варианте полевого опыта

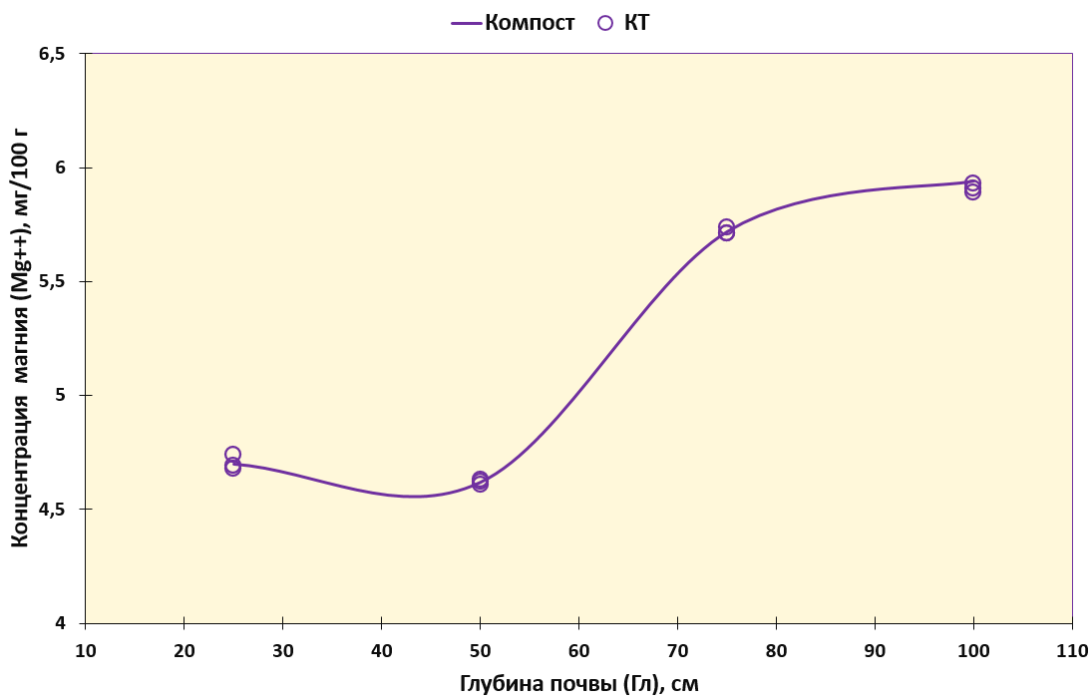


Рисунок 5.28. Верификация модели (5) взаимосвязи концентрации магния с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост»

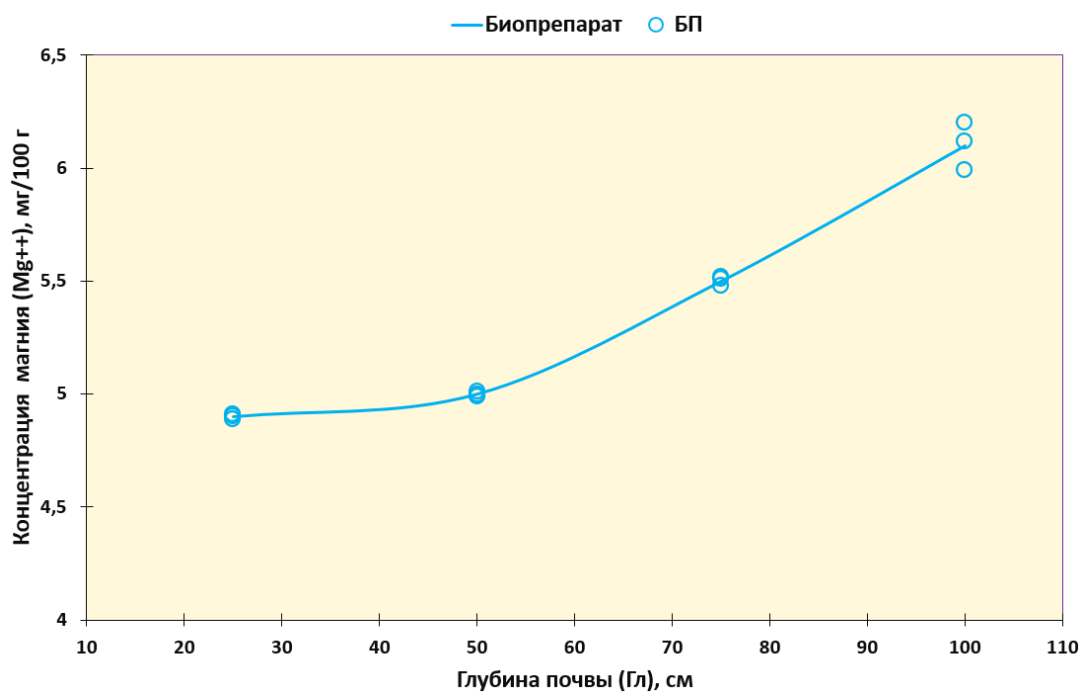


Рисунок 5.29. Верификация модели (5) взаимосвязи концентрации магния с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Биопрепарат»

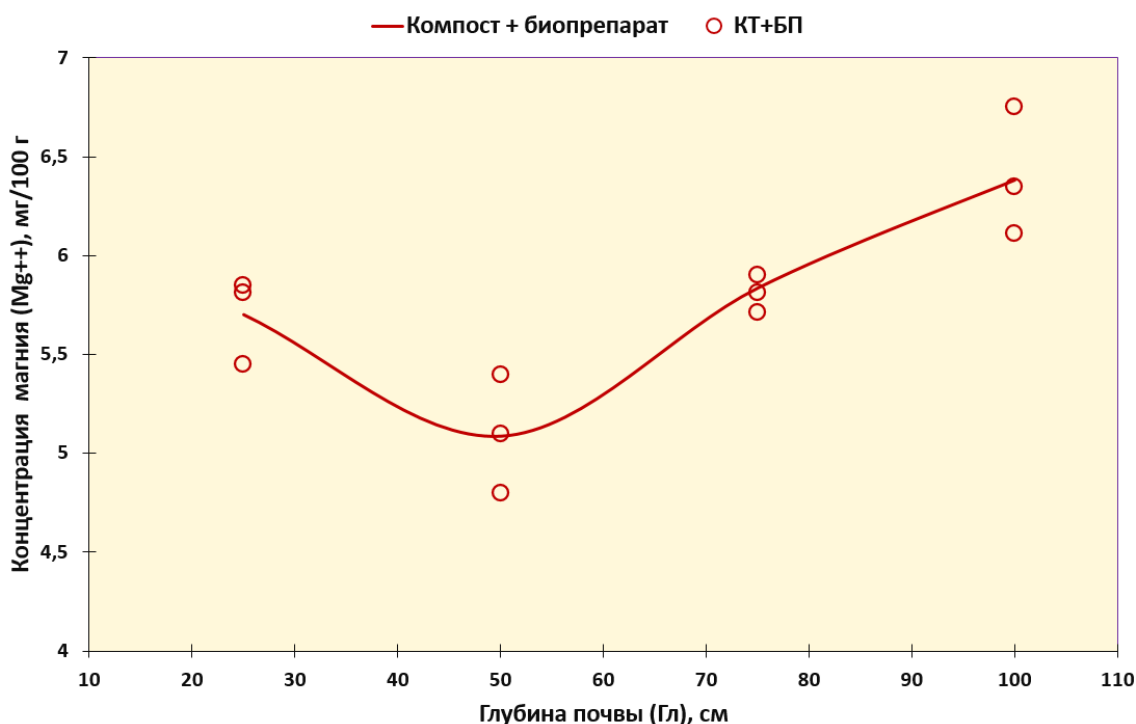


Рисунок 5.30. Верификация модели (5) взаимосвязи концентрации магния с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост + биопрепарат»

Верификация полученной модели представлена на рисунках 5.27 – 5.30 и также подтверждает факт того, что теоретические значения довольно точно отображают данные полевого опыта

По результатам статистического анализа были сформулированы научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значение для научной и практической работы. Выявлена концентрация магния в почве изменяется в зависимости от глубины. Так, в верхнем слое (0–25 см) содержание магния относительно низкое, но оно возрастает по мере углубления и достигает максимума на уровне 76–100 см. Такой профиль обусловлен вымыванием магния из верхних слоёв и его постепенным накоплением в глубине, где скорость разложения

органического вещества замедляется, создавая условия для его осаждения и удержания.

Биомелиоранты, в частности компост и биопрепараты, значительно влияют на содержание магния в почве. Наибольшая концентрация магния зафиксирована при комбинированном применении компоста и биопрепаратов, что указывает на их синергетический эффект. Биопрепараты активизируют мобилизацию магния и способствуют его сохранению в верхних слоях, в то время как компост улучшает структуру почвы и удерживает магний в форме, доступной для растений, что снижает его вымывание.

Биомелиоранты активно способствуют химическим процессам, поддерживая плодородие почвы и улучшая её физические свойства. Компост, благодаря содержанию органических веществ, улучшает влагоудерживающие качества почвы, что замедляет вымывание магния. Биопрепараты, содержащие микроорганизмы, способствуют преобразованию нерастворимых форм магния в доступные для растений соединения, что особенно важно для поддержания стабильной концентрации магния и других элементов в почве.

Анализ данных и дисперсионный анализ указывают на значительную зависимость концентрации магния от типа биомелиорантов и глубины почвенного слоя. Наиболее высокий уровень магния наблюдается при совместном применении компоста и биопрепаратов, что подчёркивает эффективность комплексного подхода в мелиорации засоленных почв. Данный метод позволяет улучшить химический и физический состав почвы, особенно в её верхних слоях.

Исследование подтверждает важность применения биомелиорантов для поддержания высокого уровня магния в почве, особенно в аридных условиях. Высокая концентрация магния улучшает питание растений, таких как люцерна, и повышает их устойчивость к стрессам, что в конечном итоге



ведёт к увеличению урожайности и способствует стабильному сельскому хозяйству на засоленных территориях.

Совместное использование компоста и биопрепаратов демонстрирует высокую эффективность в повышении содержания магния в почве, особенно в её верхних слоях. Эти результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода в мелиорации почв для обеспечения их плодородия и поддержания устойчивых агроэкосистем в условиях засоленности.

### *Динамики концентрации натрия по глубине почвы*

Засоление почвы представляет собой одну из главных проблем в сельском хозяйстве, значительно ограничивающую продуктивность сельскохозяйственных угодий. Для улучшения состояния засоленных почв используются различные биомелиоранты, такие как компост и биопрепараты на основе бактериальных штаммов. В данном разделе представлены результаты статистического анализа влияния различных биомелиорантов на концентрацию натрия ( $\text{Na}^+$ ) в почве на разной глубине. Исследование проводилось на опытных участках, где почва обрабатывалась по четырём вариантам опыта: контроль (без мелиорантов), компост, биопрепарат и комбинация компоста и биопрепарата.

Таблица 5.17. Данные концентрации натрия ( $\text{Na}^+$ ) по вариантам опыта на разной глубине почвы

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат
0-25	2,35	2,12	1,86	0,90
0-25	2,39	2,10	1,83	1,04
0-25	2,37	2,11	1,83	1,14
26-50	1,91	1,77	1,54	1,17
26-50	1,93	1,79	1,53	1,10
26-50	1,92	1,78	1,52	1,24
51-75	2,21	1,91	1,75	1,41
51-75	2,00	1,94	1,73	1,43
51-75	2,10	1,94	1,74	1,52

Глубина слоя почвы, см	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат
76-100	5,54	2,41	2,16	2,10
76-100	5,49	2,39	2,15	2,37
76-100	5,53	2,43	2,17	2,18

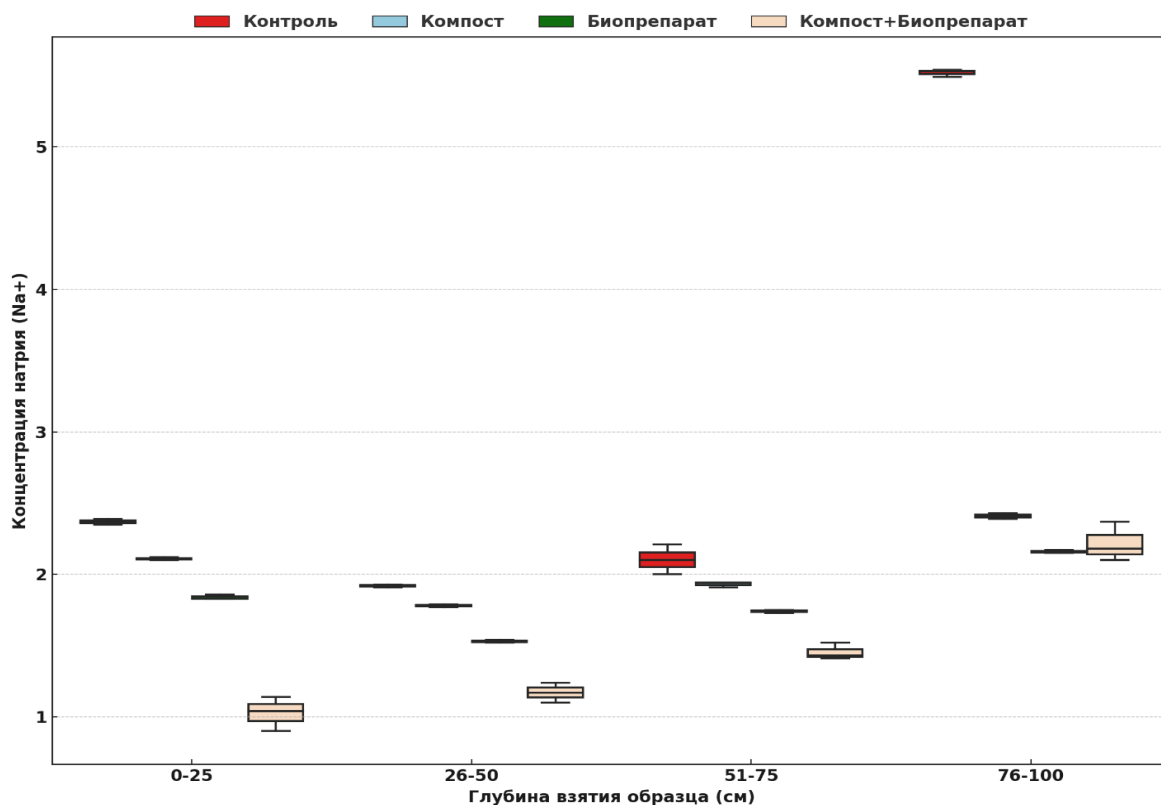


Рисунок 5.31. Ящики с усами распределения натрия ( $\text{Na}^+$ ) по вариантам опыта и глубине взятия образцов почвы

Концентрация натрия ( $\text{Na}^+$ ) в почве измерялась на глубине 0-25 см, 26-50 см, 51-75 см и 76-100 см. В таблице 5.17 приведены числовые данные, использованные для анализа, а на рисунке 5.31 визуализированы основные тенденции и распределение данных. На диаграмме "Ящики с усами" представлены данные по концентрации натрия ( $\text{Na}^+$ ) в почве на различных глубинах в зависимости от типа внесённого мелиоранта.

Таблица 5.18. Результат двухфакторного дисперсионного анализа влияния на концентрацию натрия ( $\text{Na}^+$ ) биомелиорантов и глубины почвенного слоя

Показатели	Вариант опыта	Итого
------------	---------------	-------

	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат	
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	7,1100	6,3300	5,5200	3,0800	22,0400
Среднее	2,3700	2,1100	1,8400	1,0267	1,8367
Дисперсия	0,0004	0,0001	0,0003	0,0145	0,2797
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	5,7600	5,3400	4,5900	3,5100	19,2000
Среднее	1,9200	1,7800	1,5300	1,1700	1,6000
Дисперсия	0,0001	0,0001	0,0001	0,0049	0,0895
<b>Глубина 51-75 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	6,3100	5,7900	5,2200	4,3600	21,6800
Среднее	2,1033	1,9300	1,7400	1,4533	1,8067
Дисперсия	0,0110	0,0003	0,0001	0,0034	0,0661
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	16,5600	7,2300	6,4800	6,6500	36,9200
Среднее	5,5200	2,4100	2,1600	2,2167	3,0767
Дисперсия	0,0007	0,0004	0,0001	0,0192	2,1840
<b>Итого</b>					
Повторности	12	12	12	12	-
Сумма	35,7400	24,6900	21,8100	17,6000	-
Среднее	2,9783	2,0575	1,8175	1,4667	-
Дисперсия	2,3793	0,0602	0,0564	0,2379	-
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<b>Источник вариации</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F<sub>расч.</sub></b>	<b>F<sub>05/01</sub></b>
Вариант опыта	16,2920	3	5,4307	1556,25	2,90/4,49
Глубина, см	15,0311	3	5,0104	1435,81	2,90/4,49
Взаимодействие	13,6686	9	1,5187	435,22	2,19/2,98
Внутри	0,1117	32	<b>MSE=0,0035</b>		
Итого	16,1739	47			

Таблица 5.19. Оценка различий концентрации натрия (Na<sup>+</sup>) между вариантами опыта по слоям почвы на разной глубине

Сравниваемые варианты опыта	Разница средних	HCP <sub>05</sub>	p-значение	Различия

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	p-значение	Различия
<b>Глубина 0-25 см</b>					
Контроль	Компост	0,260	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,530	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+ Биопрепарат	1,343	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,270	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+ Биопрепарат	1,083	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	0,813	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 26-50 см</b>					
Контроль	Компост	0,140	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,390	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,750	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,250	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+Биопрепарат	0,610	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,360	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 51-75см</b>					
Контроль	Компост	0,173	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,363	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	0,650	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,190	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+Биопрепарат	0,477	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,287	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
<b>Глубина 76-100 см</b>					
Контроль	Компост	3,110	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	3,360	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	3,303	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,250	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Компост+Биопрепарат	0,193	0,130	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,057	0,130	>0,05	<b>Нет</b>

$$HCP_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,8 \times \sqrt{\frac{0,0035}{3}} = 0,130$$

Для описания динамики концентрации натрия к третьему году выращивания люцерны по вариантам опыта построена регрессионная модель, включающая в качестве предикторов глубину почвенного слоя и названия вариантов опыта, закодированных фиктивными переменными в соответствии с матрицей (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате получена регрессионная модель предсказания концентрации натрия вида:

$$\begin{aligned} Na^+ = \exp & (1,70838 - 0,82875X_1 - 0,93827X_2 - 0,91087X_3 + 5,24452 \ln GL + \\ & + 7,39324(\ln GL)^2 + 2,92150(\ln GL)^3 + \ln GL \times (-4,17429X_1 - 4,29886X_2 - \\ & - 3,21680X_3) + (\ln GL)^2 \times (-6,26941X_1 - 6,69884X_2 - 5,27182X_3) + \\ & + (\ln GL)^3 \times (-2,61782X_1 - 2,85248X_2 - 2,15808X_3) \end{aligned} \quad (6)$$

$$R^2 = 1,0; ES = \pm 0,0$$

где:

$Na^+$  – концентрация натрия, мг/100 г;

$X_i$  – фиктивные переменные, кодирующие варианты опыта;

GL – нижняя граница почвенного слоя, м

Графическая интерпретация выявленных изменений  $Na^+$  с увеличением глубины почвы по вариантам опыта показана на рисунке 5.32.

О точности предсказанных значений  $Na^+$  можно судить по квадрату оценки

адекватности. Если значения зависимой переменной по опыту полностью совпадают с теоретическими значениями, полученными по модели, то можно утверждать о 100 - процентной адекватности полученной модели. В этом случае сопоставляемые значения укладываются на гипотенузу квадрата (рис. 5.33).

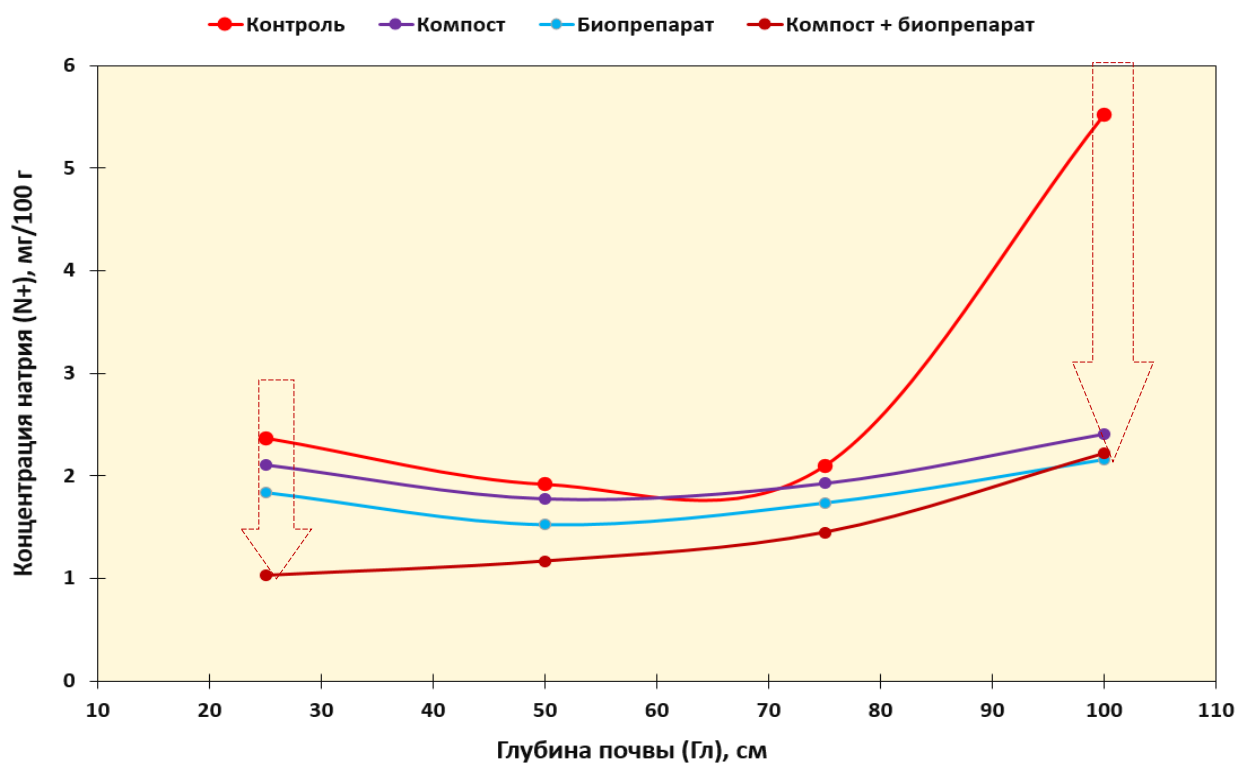


Рисунок 5.32. Графическая интерпретация модели (б) взаимосвязи средних значений концентрации натрия с глубиной почвенного слоя по вариантам полевого опыта

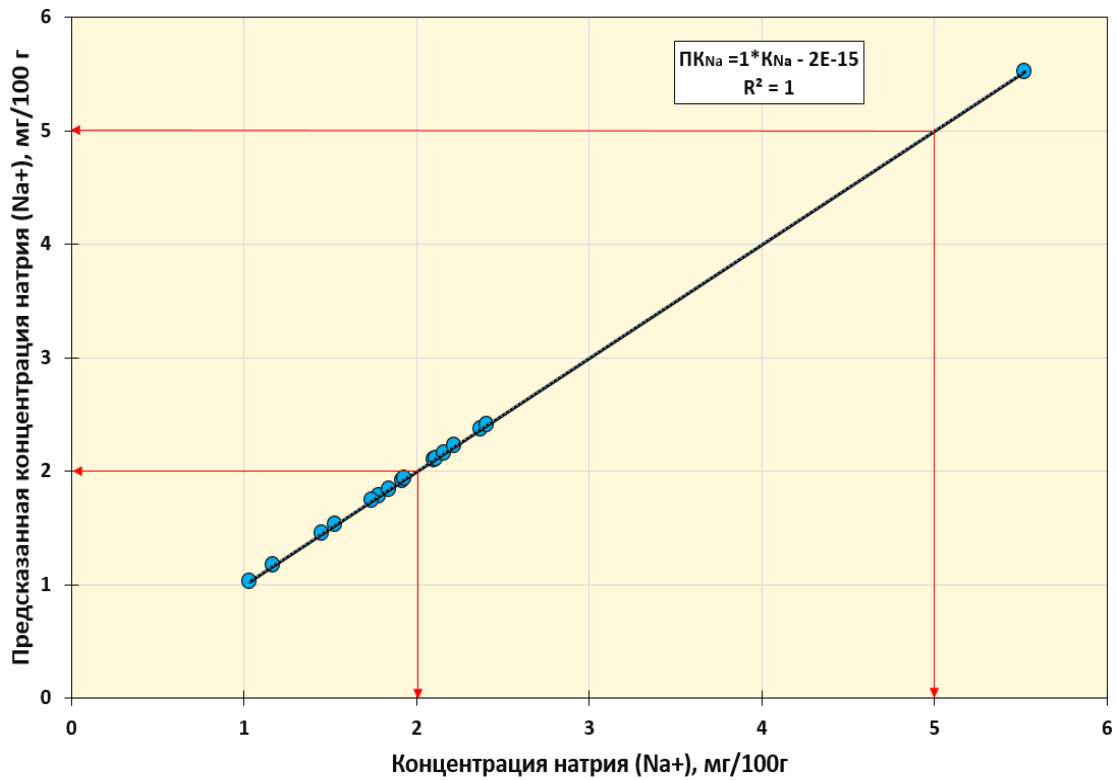


Рисунок 5.33. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (6)

Верификация полученной модели представлена на рисунках 5.34 – 5.37 и также подтверждает факт того, что теоретические значения довольно точно отображают данные полевого опыта.

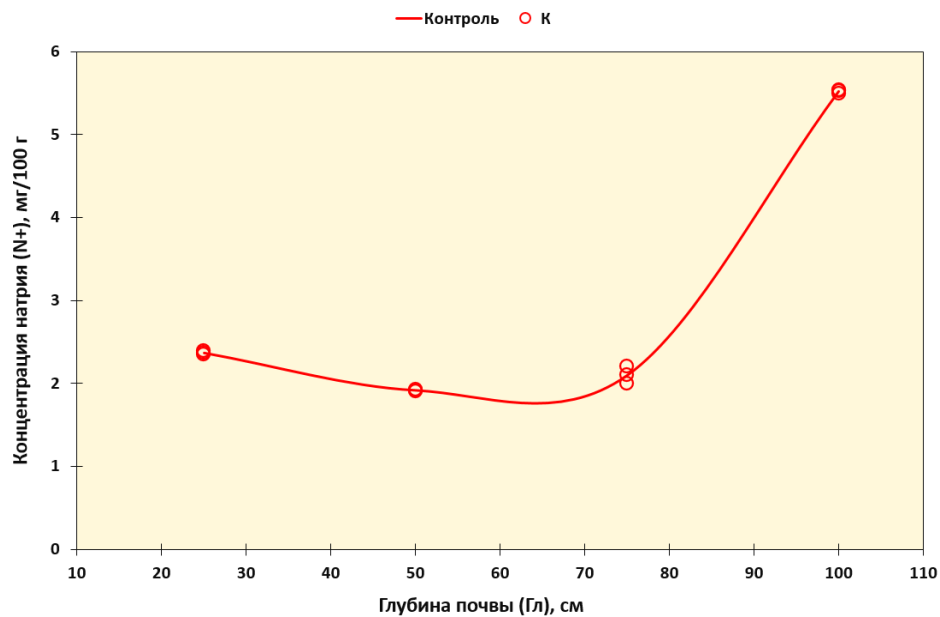


Рисунок 5.34. Верификация модели (6) взаимосвязи концентрации натрия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на контрольном варианте полевого опыта

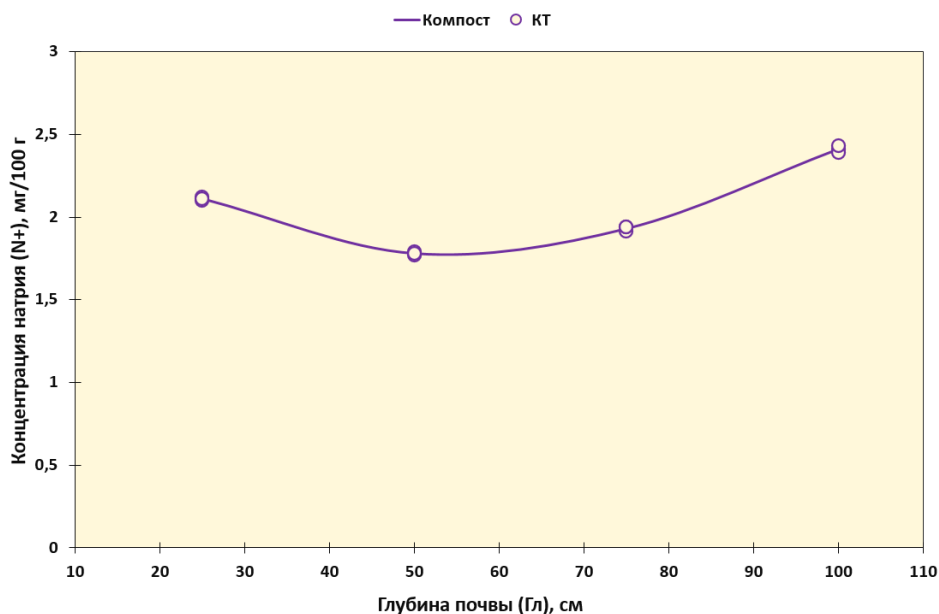


Рисунок 5.35. Верификация модели (6) взаимосвязи концентрации натрия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост»

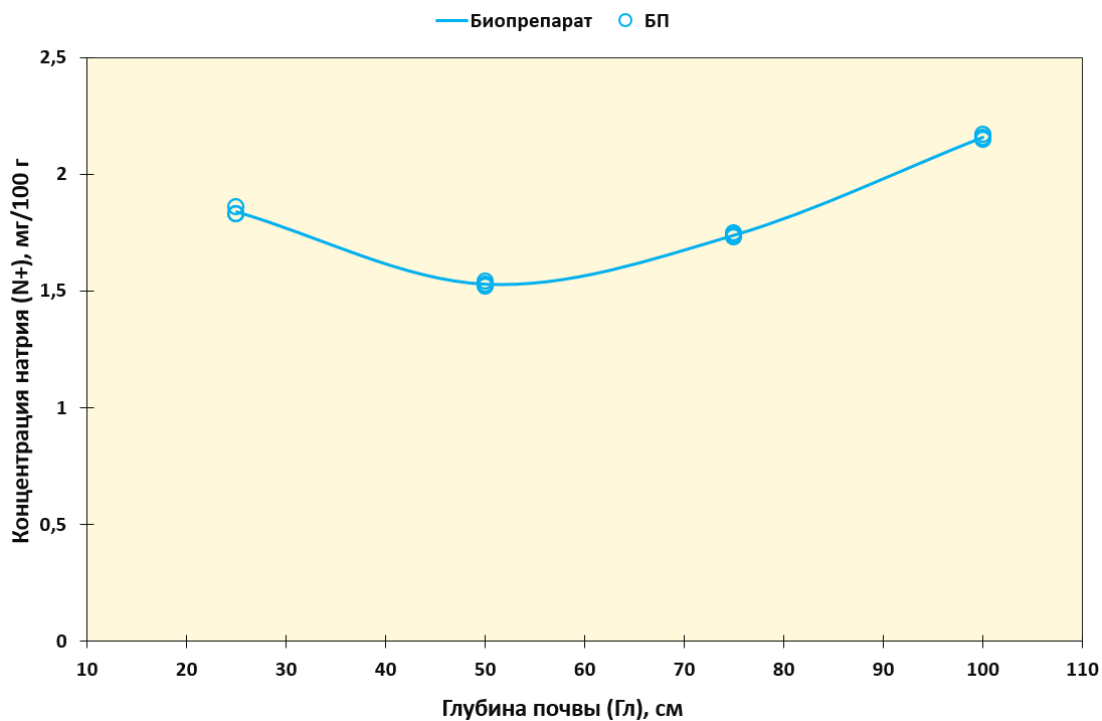




Рисунок 5.36. Верификация модели (б) взаимосвязи концентрации натрия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Биопрепарат»

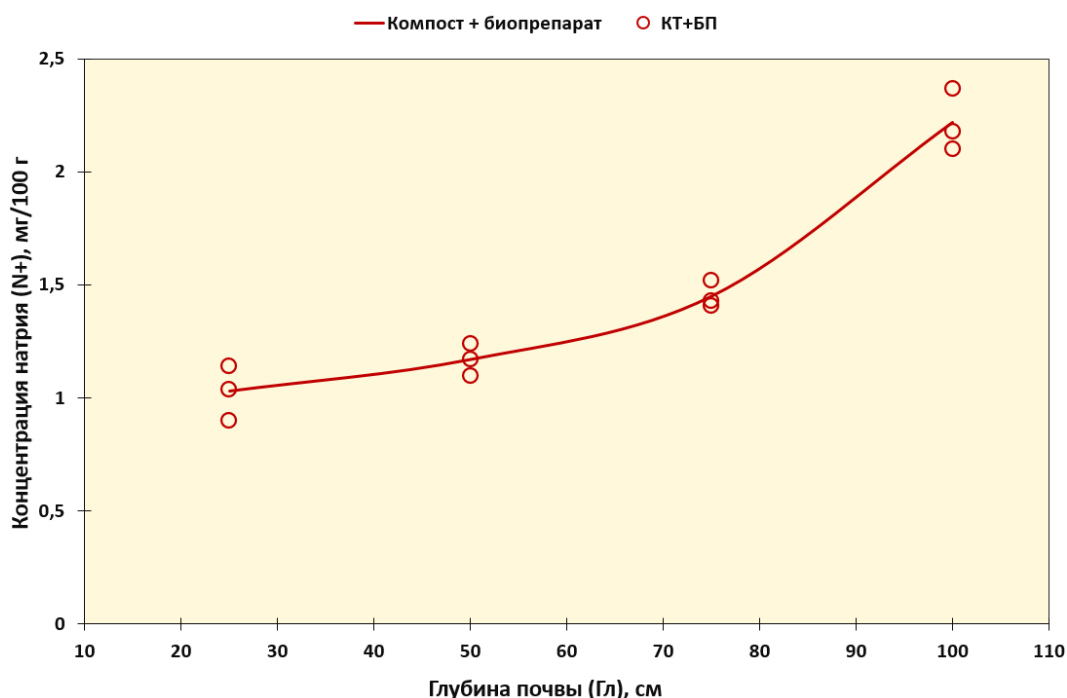


Рисунок 5.37. Верификация модели (б) взаимосвязи концентрации натрия с глубиной почвенного слоя по эмпирическим данным на варианте полевого опыта «Компост+Биопрепарат»

По результатам статистического анализа были сформулированы следующие научные положения, объясняющие происходящие в опыте явления, их значение для научной и практической работы.

Концентрация натрия в почве варьируется в зависимости от глубины: наибольшие его уровни обнаружены на глубине 76–100 см. Это связано с вымыванием натрия из верхних слоёв и его накоплением в нижних горизонтах почвы. В верхнем слое (0–25 см) концентрация натрия значительно ниже, что обусловлено выщелачиванием и воздействием биомелиорантов, направленных на снижение засоленности.

Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, оказывает значительное влияние на уменьшение концентрации натрия, особенно в верхних слоях почвы. Наибольшее снижение содержания натрия

наблюдается при совместном использовании компоста и биопрепаратов, что подтверждается данными дисперсионного анализа. Эта комбинация наиболее эффективно снижает уровень натрия на глубинах 0–25 см и 26–50 см за счёт улучшения структуры почвы и её способности удерживать влагу, что ведёт к вымыванию натрия.

Биомелиоранты снижают содержание натрия в почве посредством улучшения её физико-химических характеристик и активизации биологических процессов. Компост увеличивает содержание органического вещества, что способствует удержанию влаги и снижает вымывание натрия. Биопрепараты, содержащие полезные штаммы бактерий, активизируют разложение органических соединений и преобразование солей, что уменьшает засоленность и улучшает условия для роста растений.

Анализ данных подтверждает, что концентрация натрия в значительной степени зависит от типа биомелиоранта и глубины почвенного слоя. Совместное применение компоста и биопрепаратов приводит к максимальному снижению натрия в верхних слоях почвы, что указывает на необходимость комплексного подхода к мелиорации. Этот подход, объединяющий органические и микробиологические мелиоранты, обеспечивает эффективное снижение содержания натрия в засоленных почвах.

Результаты исследования подчёркивают важность использования биомелиорантов для снижения уровня натрия в почве, особенно в условиях аридного климата, где засоленность представляет серьёзную проблему. Уменьшение содержания натрия улучшает условия для роста растений, таких как люцерна, повышает их устойчивость к засолению и способствует увеличению урожайности.

### **Выводы**

1. Наиболее высокие концентрации калия ( $K^+$ ) наблюдаются при комбинированном внесении компоста и биопрепарата на всех глубинах,

особенно на глубинах 0-25 см и 26-50 см. Биопрепарат и компост по отдельности показывают схожие результаты на глубинах 26-50 см и 51-75 см, но уступают комбинации. Контрольные образцы показывают наименьшие концентрации калия ( $K^+$ ) на всех глубинах, что подтверждает эффективность внесения удобрений для увеличения содержания калия в почве.

### ***Кальций***

3. Наиболее высокие концентрации кальция ( $Ca^{2+}$ ) наблюдаются при комбинированном внесении компоста и биопрепарата на всех глубинах, особенно на глубине 76-100 см. Контрольные образцы показывают наименьшие концентрации кальция на всех глубинах, что подтверждает эффективность внесения удобрений для увеличения содержания кальция в почве.

### ***Магний***

4. Самые низкие концентрации магния ( $Mg^{2+}$ ) наблюдаются на контроле во всех глубинах. Биомелиорант Компост+Биопрепарат: показывает наибольшие концентрации магния на всех глубинах, особенно на глубине 76-100 см.

### ***Натрий***

5. Компост+Биопрепарат демонстрирует наиболее низкие концентрации натрия ( $Na^+$ ) на глубине 0-25 см, но на остальных глубинах его концентрация выравнивается или даже превышает концентрации других вариантов. Концентрация натрия на контроле постепенно уменьшается с глубиной до 51-75 см, а затем вновь увеличивается. Концентрация натрия под биопрепаратом стабильна на всех глубинах, с наибольшими значениями на глубине 76-100 см.

## 6. ВЛИЯНИЕ БИОМЕЛИОРАНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ

### 1.1. Урожайность люцерны в период исследования

Люцерна — это многолетний бобовый корм, который является одним из наиболее важных и широко культивируемых во всем мире. Люцерна обладает умеренной устойчивостью к солям и щелочам, что позволяет ей расти на засоленно-щелочных почвах. Важно отметить, что она способствует улучшению местной экологии, улучшению структуры почвы и повышению её плодородия. Однако стоит отметить, что возраст растений люцерны влияет на их продуктивность. Было описано, что длительное непрерывное выращивание (более 4 лет) приводит к постепенному снижению урожайности (Yin, 2019). Причина снижения объясняется заболеваемостью корневой системы из года в год после третьего вегетационного периода (Shichuan et al., 2016). Улучшение агротехнических характеристик сельскохозяйственных культур с использованием органических удобрений и биопрепаратов является важным аспектом современного земледелия.

#### *Выбор люцерны*

Люцерна (*Medicago sativa*) была выбрана в качестве объекта исследования по нескольким причинам:

1. Люцерна является важной кормовой культурой, богатой белками и питательными веществами, что делает её незаменимой в кормопроизводстве для животных. Она способствует улучшению здоровья и продуктивности животных.

2. Как представитель семейства бобовых, люцерна обладает способностью фиксировать атмосферный азот благодаря симбиозу с азотофиксирующими бактериями. Это позволяет уменьшить потребность в

синтетических азотных удобрениях, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов.

3. Люцерна обладает глубокими корнями, что позволяет ей эффективно использовать доступные водные ресурсы и проявлять устойчивость к засушливым условиям. Это делает её подходящей для выращивания в аридных регионах, таких как САР.

4. Выращивание люцерны способствует улучшению структуры почвы, её аэрации и водопроницаемости. Это особенно важно для засоленных и низко плодородных почв, которые преобладают в САР.

5. Люцерна является важной культурой в севообороте, способствуя восстановлению плодородия почвы и предотвращению её истощения.

Таким образом, выбор люцерны в качестве объекта исследования обоснован её высокой кормовой ценностью, способностью улучшать почвенные условия и устойчивостью к неблагоприятным климатическим условиям, что делает её перспективной культурой для повышения продуктивности сельского хозяйства.

Исследование влияния органических удобрений и биопрепаратов на урожайность бобовых культур, том числе и люцерны является важной и актуальной темой. Это связано с необходимостью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения почвенных условий, особенно в условиях аридного климата.

Для природно-климатических условий САР общая картина изменения основных климатических показателей по месяцам трёх лет наблюдений (осадков, средней и максимальной температуры воздуха) и урожайности люцерны представлена на рисунке 6.1.

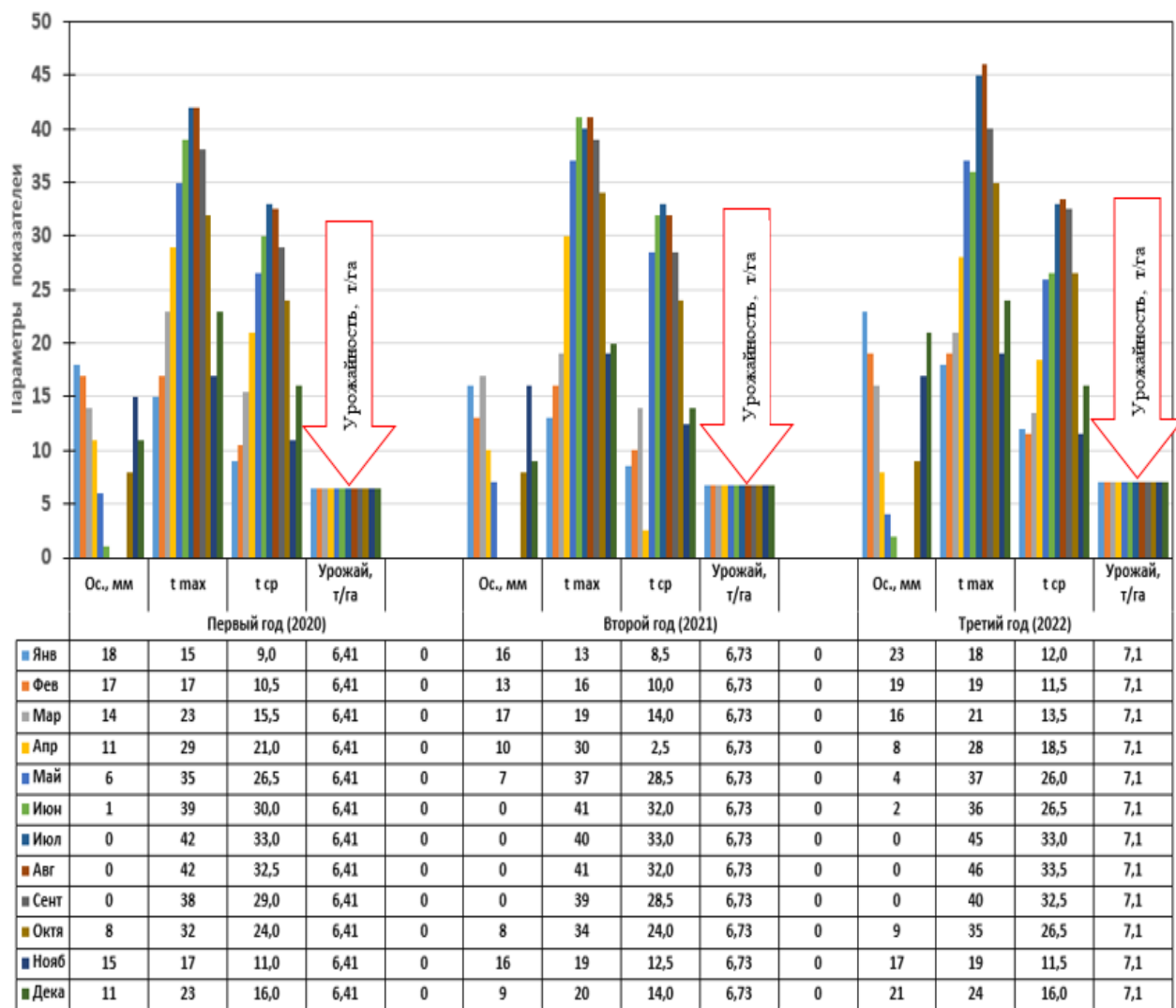


Рисунок 6.1. Календарное изменение климатических факторов, лимитирующих урожайность люцерны по трём годам выращивания (2020, 2021, 2022 гг.)

Судя по данным, представленным на рисунке 6.1, следует отметить, что за период проведения трёхлетнего эксперимента основные климатические показатели не имели аномальных колебаний, что способствовало сохранению чистоты эксперимента.

## 1.2. Влияния биомелиорантов на общую урожайность

Для оценки достоверности влияния компоста на основе люцерны и биопрепаратов рода *Vacillus* на урожайность люцерны были решены следующие задачи:

1. Оценить влияние различных вариантов внесения компоста и биопрепаратов на урожайность люцерны по трём годам выращивания культуры.

2. Провести дисперсионный анализ данных для выявления статистически значимых различий между вариантами опыта по годам выращивания.

3. Рассчитать наименьшую существенную разницу (НСР) для подтверждения значимости полученных результатов.

4. Оценить синергетический эффект совместного применения компоста и биопрепаратов.

Так, экспериментальные данные по 4 вариантам опыта в 3-х кратной повторности были сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1. Урожайность люцерны (т/га) по вариантам опыта и годам укосов

Год выращивания	Вариант опыта			
	контроль	компост	биопрепарат	компост+ биопрепарат
Первый	6,31	7,26	7,10	9,02
	6,49	7,21	7,24	9,20
	6,43	7,25	7,17	9,14
Второй	6,43	7,45	7,12	9,68
	7,04	7,70	7,81	9,90
	6,73	7,80	7,63	9,77
Третий	6,90	9,24	9,10	9,21
	7,00	9,16	9,50	9,53
	7,40	9,38	9,30	9,52

Данные за три года показали, что положительное влияние биологических мелиорантов сохраняется на протяжении всего периода наблюдений.

В первом приближении данные для статистической обработки по вариантам опыта были представлены графически в виде ящиков с усами (Рис. 6.2).

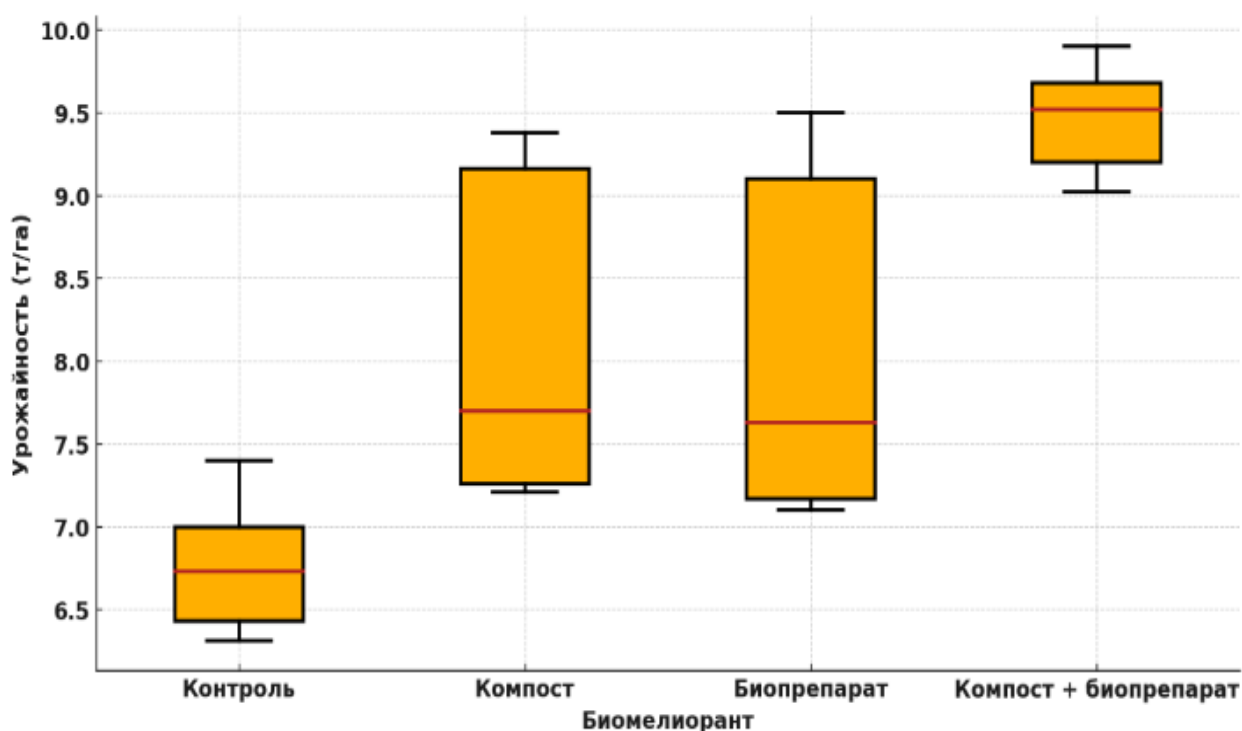


Рисунок 6.2. Ящики с усами для оценки средней урожайности люцерны и показателей её варьирования по вариантам опыта

Ящики с усами - это графический метод отображения распределения числовых данных и их вариативности с помощью квартилей. Описание основных элементов ящика с усами:

1. Медиана (средняя линия ящика): вертикальная линия внутри ящика, показывающая среднее значение набора данных.

2. Верхняя и нижняя границы ящика представляют собой первый ( $Q_1$ ) и третий ( $Q_3$ ) квартили, соответственно.  $Q_1$  - это значение, ниже которого лежит 25% данных, а  $Q_3$  - значение, ниже которого лежит 75% данных.



3. Интерквартильный размах (ИКР): Разница между первым и третьим квартилями ( $Q_3 - Q_1$ ). Это показывает разброс середины данных.

4. Усы — это линии, которые простираются от ящика до минимального и максимального значения данных, находящихся в пределах 1,5 ИКР от первого и третьего квартилей соответственно. Усы помогают визуализировать диапазон данных за исключением выбросов.

5. Выбросы – это точки данных, которые находятся за пределами усов. Они обозначаются отдельно (обычно маленькими кругами или звёздочками) и показывают значения, которые значительно отличаются от остальных данных.

Ящики с усами полезны для сравнения распределений между несколькими наборами данных, поскольку они дают наглядное представление о разбросе и симметрии данных, а также о наличии выбросов.

Сравнительный анализ распределения данных (рис. 6) указывает на существенное увеличение урожайности люцерны под влиянием биомелиорантов относительно контрольного варианта.

Статистическая обработка организованных в опыте данных, представленных в таблице 6.1. методом двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями, позволила получить результат, представленный в таблице 6.2.

Результаты дисперсионного анализа показывают, что использование компоста и биопрепаратов значительно увеличивает урожайность люцерны по сравнению с контролем. Нулевая гипотеза отвергается поскольку расчётные значения F-критерия Фишера во всех источниках вариации (по годам укосов, по вариантам опыта, по их взаимодействию) оказались больше теоретических значений критерия на 5-ти и 1 - процентном уровне значимости.

Таблица 6.2. Дисперсионный анализ урожайности люцерны

Статистический показатель	Вариант опыта				Итого
	контроль	компост	биопрепарат	компост+биопрепарат	
<b>Первый год (2020)</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	19,230	21,720	21,510	27,360	89,820
Среднее	6,410	7,240	7,170	9,120	7,485
Дисперсия	0,008	0,001	0,005	0,008	1,092
<b>Второй год (2021)</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	20,200	22,950	22,560	29,350	95,060
Среднее	6,733	7,650	7,520	9,783	7,922
Дисперсия	0,093	0,032	0,128	0,012	1,443
<b>Третий год (2022)</b>					
Повторности	3	3	3	3	12
Сумма	21,300	27,780	27,900	28,260	105,240
Среднее	7,100	9,260	9,300	9,420	8,770
Дисперсия	0,070	0,012	0,040	0,033	1,046
<b>Итого</b>					
Повторности	9	9	9	9	
Сумма	60,730	72,450	71,970	84,970	
Среднее	6,748	8,050	7,997	9,441	
Дисперсия	0,132	0,866	1,022	0,096	
<b>Дисперсионный анализ</b>					
<b>Источник вариации</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F<sub>расч.</sub></b>	<b>F<sub>05/01</sub></b>
Годы выращивания	10,246	2	5,123	138,54	3,40/5,61
Варианты опыта	32,702	3	10,901	294,76	3,01/4,72
Взаимодействие	5,799	6	0,967	26,14	2,51/3,67
Внутри	0,888	24	<b>MSE=0,037</b>		
Итого	49,635	35			

Результаты дисперсионного анализа показывают, что использование компоста и биопрепаратов значительно увеличивает урожайность люцерны по сравнению с контролем. Нулевая гипотеза отвергается поскольку расчётные значения F-критерия Фишера во всех источниках вариации (по годам выращивания, по вариантам опыта, по их взаимодействию) оказались больше теоретических значений критерия на пяти и 1-процентном уровне значимости.

Наибольшая урожайность наблюдалась при совместном применении компоста и биопрепаратов, что подтверждает гипотезу о синергетическом эффекте указанных вариантов. Бактерии рода *Bacillus*, действуя как биокатализаторы, улучшают доступность питательных веществ, что положительно сказывается на росте и развитии растений.

После проведения дисперсионного анализа и доказательства статистических различий между вариантами опыта и числом лет выращивания люцерны были проведены парные сравнения средних значений. Для этого был использован критерий Тьюки (Q) — это статистический метод для проведения множественных сравнений средних значений при трёх повторностях по каждому варианту опыта (n). Он соответствует стандартному (табличному) значению на 5-ти процентном уровне значимости при заданном числе вариантов опыта и числа степеней свободы для ошибки (MSE), который получаем в таблице дисперсионного анализа. В нашем случае для 4 вариантов опыта при 24 степенях свободы он равен 3,9 (табл. 3.2).

Сравнение значений  $HCp_{05}$  с разницей урожайности между вариантами опыта позволяет сделать заключение о наличии различий на 5-ти процентном уровне значимости.

Таблица 6.3. Результаты множественных сравнений тестом Тьюки урожайности люцерны по вариантам опыта и годам выращивания

Сравниваемые варианты опыта		Разница средних	НСР <sub>05</sub>	р-значение	Различия
<i>Первый год (2020)</i>					
Контроль	Компост	0,830	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,760	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+ Биопрепарат	2,710	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,070	0,433	>0,05	Нет
Компост	Компост+ Биопрепарат	1,880	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат	1,950	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
<i>Второй год (2021)</i>					
Контроль	Компост	0,917	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	0,787	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост Биопрепарат	3,050	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,130	0,433	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	2,133	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	2,263	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
<i>Третий год (2022)</i>					
Контроль	Компост	2,160	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Биопрепарат	2,200	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Контроль	Компост+Биопрепарат	2,320	0,433	<0,05	<b>Есть</b>
Компост	Биопрепарат	0,040	0,433	>0,05	Нет
Компост	Компост+Биопрепарат	0,160	0,433	>0,05	Нет
Биопрепарат	Компост+Биопрепарат	0,120	0,433	>0,05	Нет

$$НСР_{05} = Q \times \sqrt{\frac{MSE}{n}} = 3,9 \times \sqrt{\frac{0,037}{3}} = 0,433$$

Результаты анализа позволили построить гистограмму урожайности люцерны по вариантам опыта и по годам выращивания люцерны (Рис. 6.3).

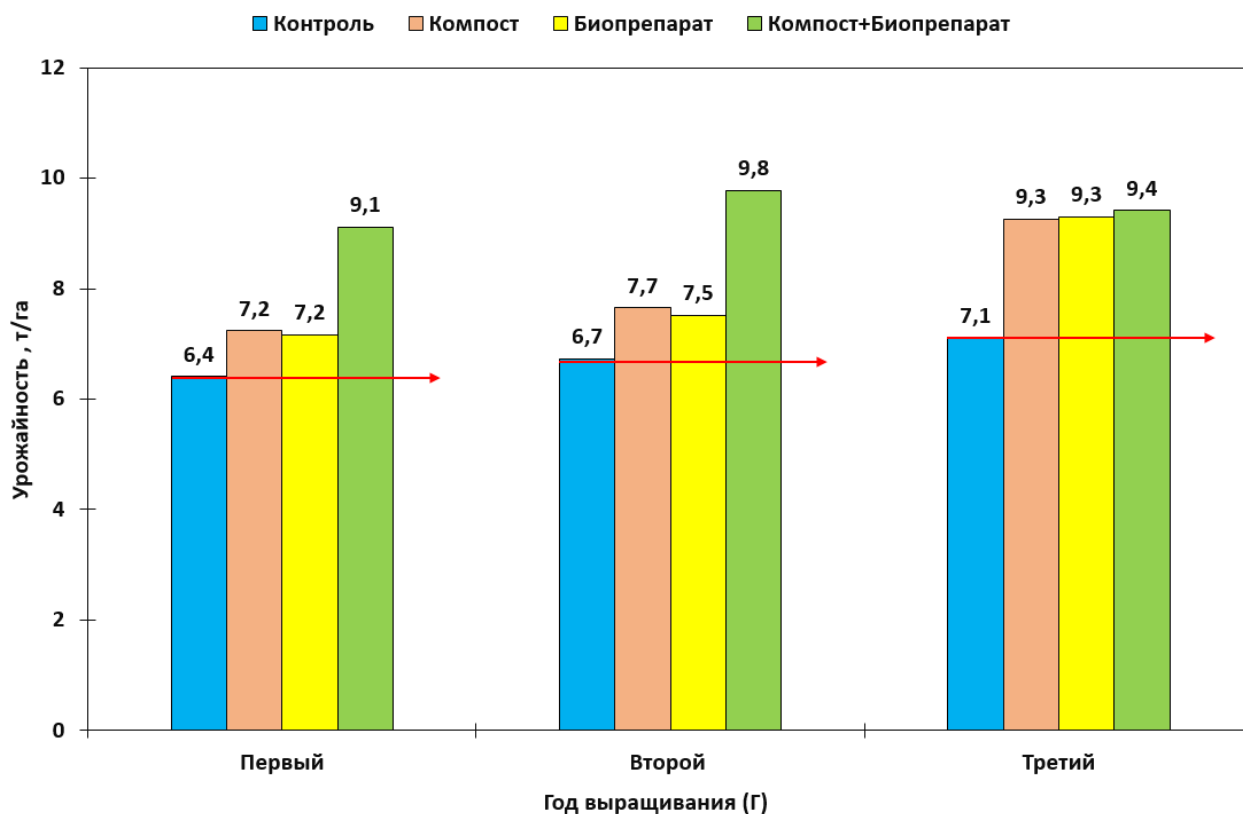


Рисунок 6.3. Изменение по годам выращивания урожайности люцерны по вариантам опыта

Результаты полевого опыта показали, что наибольшая урожайность люцерны была достигнута при совместном применении компоста и биопрепаратов. Это подтверждает гипотезу о синергетическом эффекте их воздействия на урожай люцерны. Анализ дисперсии показал, что использование компоста и биопрепаратов значительно увеличивает урожайность люцерны по сравнению с контролем. Наибольшая доля общей вариации урожайности приходится на фактор «Варианты опыта», что указывает на значительное влияние типа удобрений на урожайность. Факторы "Годы выращивания" и "Взаимодействие" также вносят существенный вклад, в то время как внутренняя вариация "Внутри"

относительно мала (табл. 6.2). Прогностическая модель динамики урожайности люцерны

Наряду с дисперсионным анализом проведено статистическое моделирование взаимосвязей урожайности построением парных регрессий и многомерной модели, сочетающей качественные и численно выраженные предикторы. Так, на рисунке 6.4 представлены парные регрессии, которые показывают изменения урожайности люцерны в зависимости от года выращивания для каждого из четырёх вариантов опыта: контроль, компост, биопрепарат, компост + биопрепарат.

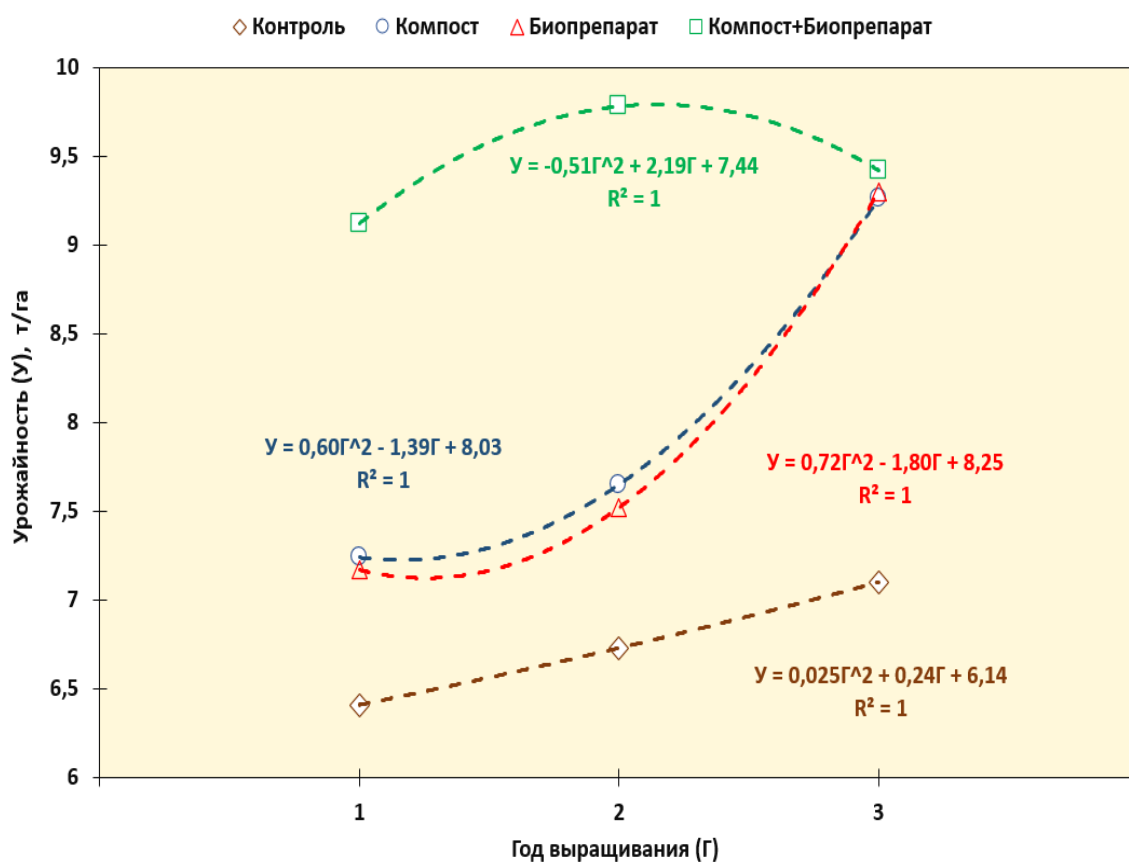


Рисунок 6.4. Парная регрессия трёхлетней динамики урожайности люцерны по средним значениями 4-х вариантов полевого опыта

Линии регрессии помогают визуализировать тенденции изменения урожайности со временем и демонстрируют, как внесение биомелиорантов влияют на урожайность. Так, линия регрессии для контроля показывает, что урожайность люцерны в контрольном варианте имеет тенденцию к

незначительному увеличению со временем. Линия регрессии для варианта с компостом указывает на небольшое увеличение урожайности ко второму году и более значительным эффектом к третьему году. Линия регрессии для биопрепарата показывает аналогичную тенденцию к повышению урожайности с положительным воздействием биопрепарата к третьему году выращивания. Линия регрессии для комбинации компоста и биопрепарата демонстрирует наибольшее увеличение урожайности во второй год выращивания, что подтверждает синергетический эффект.

Наибольший интерес в выявлении динамики общей урожайности люцерны представляют многомерные регрессионные модели. К наиболее подходящим среди них следует отнести модели, учитывающие качественные предикторы, закодированные для проведения анализа блоковыми фиктивными переменными. В нашем случае это варианты опыта, представляющие контрольный вариант и три опытных варианта (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Кодирование вариантов опыта фиктивными переменными

Вариант опыта	Блоковые фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Контроль	0	0	0
Компост	1	0	0
Биопрепарат	0	1	0
Компост + биопрепарат	0	0	1

В результате регрессионного анализа получена модель вида:

$$U = 6,140 + 1,890X_1 + 2,110X_2 + 1,300X_3 + 0,245G + 0,025 G^2 + G \times (-1,635X_1 - 2,040X_2 + 1,945X_3) + G^2 \times (0,575X_1 + 0,690X_2 - 0,535X_3) \quad (7)$$

$$R^2 = 1,0; ES = 0,0$$

где:

$U$  – общая урожайность, т/га;

$G$ - год выращивания;

$X_i$  – фиктивная переменная, кодирующая варианты опыта;

$R^2$ - показатель детерминации;

$ES$  – стандартная ошибка уравнения регрессии, т/га.

На рисунке 6.5 показана динамика изменения по годам общей урожайности от используемых в анализе предикторов. Представлена оценка адекватности полученных моделей (Рис. 6.6) и показана верификация теоретически полученных регрессий с данными полевого опыта (Рис. 6.7).



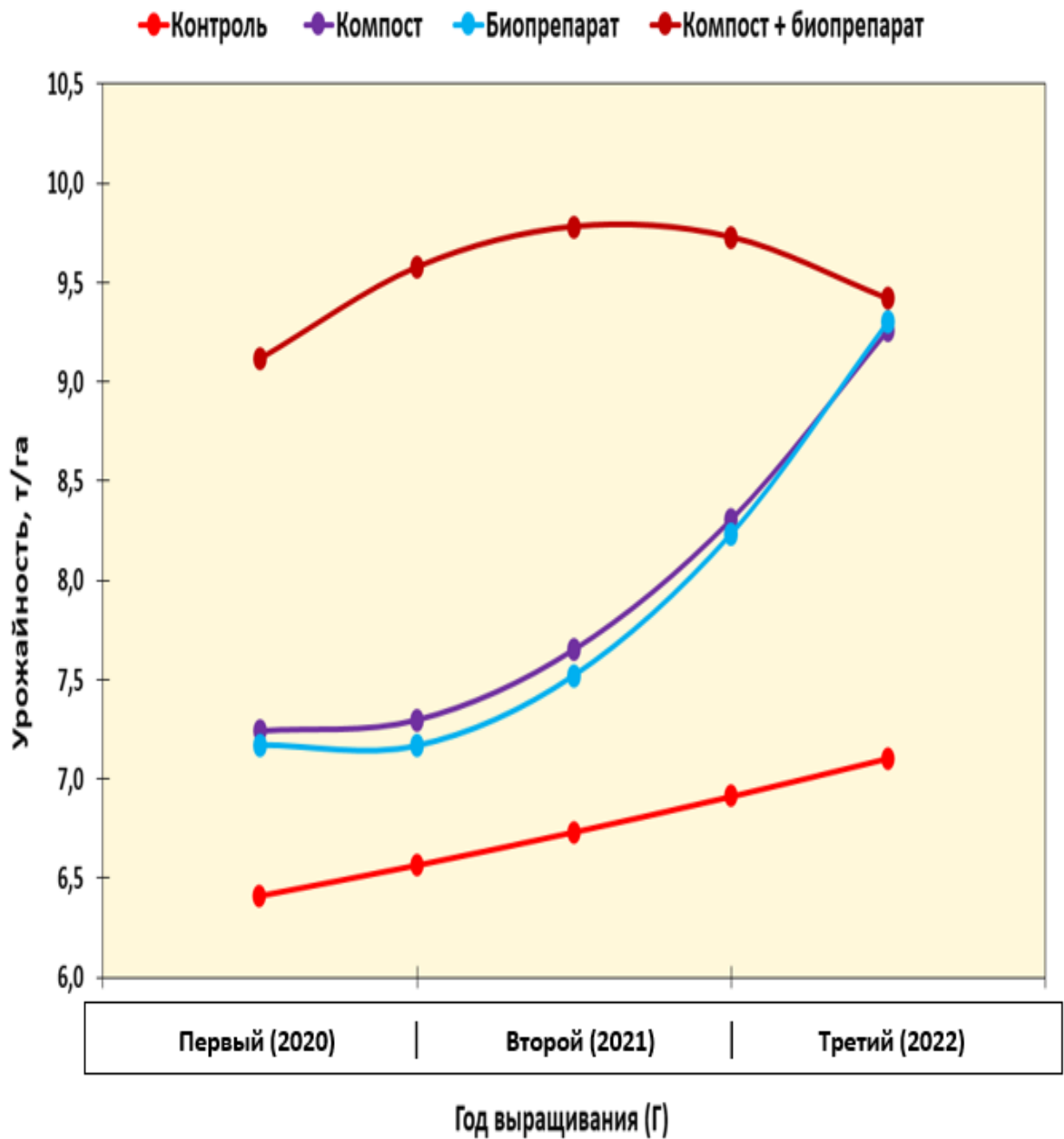


Рисунок 6.5. Графическая интерпретация модели (7) изменения урожайности по годам выращивания люцерны

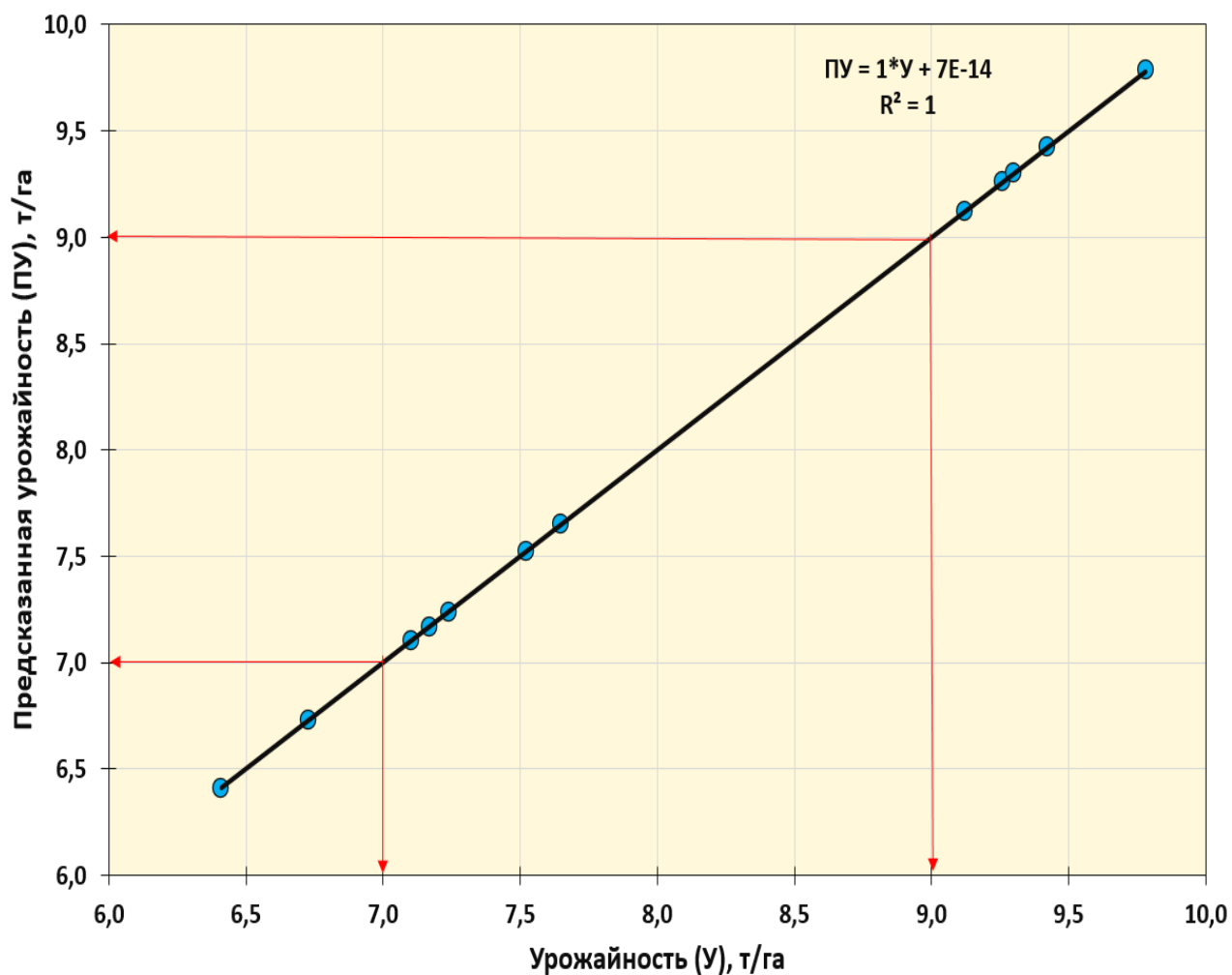


Рисунок 6.6. Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (7)

Этот график демонстрирует соответствие регрессионной модели фактическим данным. На нём можно увидеть, как предсказанные значения урожайности совпадают с данными полевого опыта. Точки на графике представляют собой наблюдаемые значения урожайности для различных вариантов опыта и лет выращивания. Чем ближе предсказанные значения, полученные с помощью регрессионной модели к фактическим данным, тем ближе они располагаются к гипотенузе квадрата и тем выше точность самой модели.

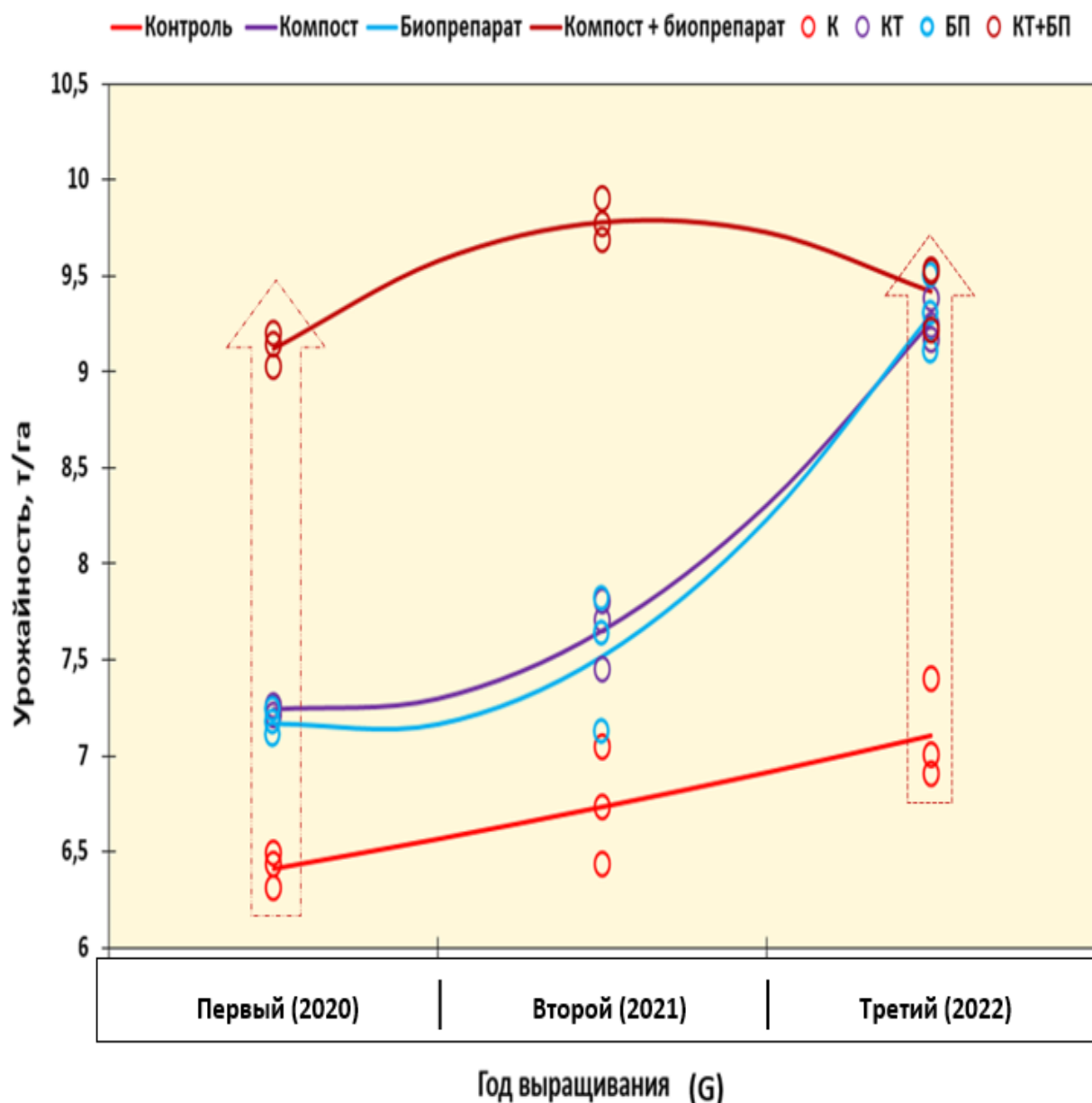


Рисунок 6.7. Сравнение теоретических значений (модель 7) трёхлетней динамики урожайности люцерны с эмпирическими данными по вариантам полевого опыта

Этот график визуализирует изменение урожайности люцерны по каждому варианту опыта и годам выращивания. Ось X представляет годы выращивания (2020, 2021, 2022), а ось Y показывает урожайность люцерны в тоннах на гектар. Линии регрессии показывают изменение урожайности для каждого из четырёх вариантов опыта (контроль, компост, биопрепарат, компост + биопрепарат).

Так, линия контрольного варианта показывает стабильную незначительно увеличивающуюся урожайность. Линия компоста указывает на небольшое увеличение урожайности во второй и значительное увеличение в третий год выращивания. Линия варианта с биопрепаратом чуть ниже линии варианта с компостом. Наибольшее увеличение урожайности, во все годы наблюдений демонстрирует вариант совместного применением компоста и биопрепарата.

Обобщая изложенное, отметим, что результаты полевого эксперимента подтверждают значительное увеличение урожайности люцерны при использовании биомелиорантов. В частности, применение компоста в комбинации с биопрепаратами продемонстрировало наибольший эффект. В первый год эксперимента (2020) средняя урожайность на контрольных участках составляла 6,41 т/га, тогда как компост увеличивал урожайность до 7,24 т/га, а совместное применение компоста и биопрепаратов позволило достичь 9,12 т/га. В последующие годы наблюдался дальнейший рост урожайности на участках с биомелиорантами. Так, применение биомелиорантов способствовало устойчивому росту урожайности люцерны. К третьему году эксперимента (2022) урожайность достигла пиковых значений: на участках с совместным использованием компоста и биопрепаратов она составила 9,44 т/га. Эта положительная динамика указывает на долговременный эффект от применения биомелиорантов.

Биомелиоранты способствуют улучшению физических и химических характеристик почвы, уменьшая её засоленность и повышая доступность питательных веществ. Компост увеличивает содержание органического вещества в почве, улучшая её структуру и способность удерживать воду. Биопрепараты, содержащие бактерии рода *Bacillus*, способствуют повышению доступности питательных элементов, что стимулирует рост и развитие растений.

Данные эксперимента и результаты дисперсионного анализа подтверждают, что на урожайность люцерны существенно влияют как тип биомелиорантов, так и продолжительность их воздействия. Наиболее выраженный эффект был получен при комбинированном использовании компоста и биопрепаратов, что доказывает существование синергетического взаимодействия между этими компонентами. Этот синергизм ведёт к значительному повышению урожайности люцерны по сравнению с контрольными участками.

Результаты исследования подчёркивают важность использования биомелиорантов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях аридного климата. Совместное применение компоста и биопрепаратов - это эффективный агротехнический приём, способствующий улучшению свойств почвы и увеличению продуктивности люцерны. Данная методика особенно актуальна для засоленных почв.

### **Выводы**

1. Урожайность люцерны постепенно увеличивалась на всех вариантах опыта, что связано с эффектом применения биомелиорантов. На третий год эксперимента (2022 г.) была зафиксирована максимальная урожайность, равная 9,44 т/га при совместном применении компоста и биопрепаратов.

2. Результаты дисперсионного анализа подтвердили статистически значимые различия между вариантами опыта. Наибольший вклад в вариацию урожайности вносил фактор «варианты опыта», тогда как влияние факторов «годы выращивания» и их взаимодействия также было значительным, но менее выраженным. Построенная регрессионная модель продемонстрировала высокую точность в прогнозировании урожайности. Линии регрессии показали устойчивый рост урожайности при использовании биомелиорантов, особенно их комбинированного варианта.

### 1.3. Распределение урожая по укосам и годам выращивания

В аридных условиях Сирии вегетационный период люцерны начинается значительно раньше и длится дольше, чем в аридных зонах России. Так, первый укос проводится в начале весны (февраль-март) - это позволяет растениям максимально использовать период мягкой зимы и ранней весны, когда температура уже оптимальна для роста. Последний укос, по данным 2022 года, приходится на конец декабря. Длительный тёплый сезон способствует увеличению количества укосов и общей продуктивности культуры.

В аридных районах России сезон укосов обычно начинается не ранее конца мая - начала июня, когда температура стабильно повышается и почва прогревается, создавая благоприятные условия для роста люцерны. Однако в конце сентября-октябре температурные показатели начинают снижаться, и растения переходят в фазу покоя, что существенно ограничивает количество возможных укосов. В результате, в среднем удаётся провести 3–4 укоса за сезон.

Различия в количестве укосов обусловлены температурным режимом и продолжительностью вегетационного периода. В Сирии более тёплый климат позволяет начинать укосы с февраля и продолжать их почти до конца года. Это связано с тем, что зимние температуры редко опускаются ниже уровня, при котором рост растений прекращается полностью. В России же поздняя весна и ранние осенние заморозки значительно сокращают активный период роста, ограничивая возможности для многократных укосов.

Оба региона испытывают дефицит влаги, но в Сирии проблема частично решается за счёт более развитых систем орошения, позволяющих поддерживать рост люцерны даже в самые жаркие периоды. В России же

осадки в аридных зонах крайне ограничены, и при недостаточном орошении частота укосов также снижается, что отражается на продуктивности.

### ***Оценка потенциальной продуктивности люцерны в аридных зонах России и Сирии***

Возможность проведения до 8 укосов за сезон при условии надлежащего орошения указывает на высокий потенциал продуктивности люцерны в условиях сухой зоны Сирии. Даже при экстремальных летних температурах люцерна сохраняет высокую производительность благодаря длительному вегетационному периоду и высокому уровню агротехнической поддержки.

В аридных регионах России потенциал продуктивности люцерны ограничен из-за более короткого вегетационного периода. Однако при улучшении систем орошения и применении технологий, повышающих устойчивость к засухе, можно увеличить количество укосов до четырёх, что позволит значительно повысить урожайность. Тем не менее, достижение уровня продуктивности, сравнимого с сирийскими показателями, в российских аридных условиях является сложной задачей и требует комплексного подхода.

Район исследования Аль-Ашарра в провинции Дейр-эз-Зорах представляет собой современную террасовую зону отложений реки Евфрат (на высоте 200 м над уровнем моря). В этом районе люцерну обычно сеют в последней декаде февраля. Норма высева составляет 40-45 кг на гектар.

Первое скашивание растений проводят через 90 дней после посева, затем скашивание проводят при достижении растениями высоты 45 см в начале фазы цветения (зацветает 10-15% растений), при этом растения скашивают на высоте 7-5 см от поверхности почвы.

В период исследования 2020-2022 гг. количество укосов составило 5 раз в первый год, 7 раз во второй год и 8 раз в третий год. В таблице 6.4 приведены календарные даты сенокосения.

Таблица 6.4. Календарные даты проведения укосов по трём годам  
выращивания люцерны

Порядковый номер укоса	Календарные даты проведения укосов по годам выращивания		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	26.05.2020	15.03.2021	10.02.2022
2	23.07.2020	02.05.2021	28.03.2022
3	19.09.2020	17.06.2021	12.05.2022
4	15.11.2020	01.08.2021	26.06.2022
5	29.12.2020	13.09.2021	10.08.2022
6	-	03.11.2021	24.09.2022
7	-	27.12.2021	08.11.2022
8	-	-	23.12.2022
<b>Итого</b>	<b>5 укосов</b>	<b>7 укосов</b>	<b>8 укосов</b>

После уборки на делянках сухое сено складывали в мешки и взвешивали. Общая масса сена, полученная при скашивании в указанные даты, представляла собой общий урожай сена для каждой повторности и вариантов полевого опыта, что подробно рассмотрено в предыдущем разделе.

Для оценки динамики структуры урожая вес сена каждого укоса выражался в процентах от общего веса сена за конкретный год выращивания люцерны. В отличие от урожайности люцерны в абсолютных единицах, которая имела диапазон варьирования от 0,213 до 2,610 т/га, относительные величины урожайности по укосам имели гораздо больший диапазон варьирования от 2,5 до 29,0%. Это позволило решить задачу статистического моделирования структуры урожайности.

Таким образом, для построения модели структуры урожая использовались предикторы уравнений регрессии в виде номера урожая ( $U_k$ ), календарного года возделывания люцерны, выраженного фиктивной переменной ( $X_i$ ), и вариантов опытов, выраженных фиктивными переменными ( $Z_i$ ).



Матрица фиктивных переменных, кодирующих качественные характеристики опыта, представлена в таблице 6.5.

Таблица 6.5. Кодирование года выращивания люцерны и вариантов опыта фиктивными переменными для построения моделей структуры урожайности по укосам

Год выращивания	Вариант опыта	Блочные фиктивные переменные				
		$X_1$	$X_2$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
Первый 2020	Контроль	0	0	0	0	0
	Компост	0	0	1	0	0
	Биопрепарат	0	0	0	1	0
	Компост+биопрепарат	0	0	0	0	1
Второй 2021	Контроль	1	0	0	0	0
	Компост	1	0	1	0	0
	Биопрепарат	1	0	0	1	0
	Компост+биопрепарат	1	0	0	0	1
Третий 2022	Контроль	0	1	0	0	0
	Компост	0	1	1	0	0
	Биопрепарат	0	1	0	1	0
	Компост+биопрепарат	0	1	0	0	1

После регрессионного анализа было получено уравнение вида:

$$DU = 27,53125 + 2,41161X_1 + 2,52409X_2 + 2,35938U_k - 1,32813U_k^2 + U_k \times (-5,85104X_1 - 7,41974X_2) + U_k^2 \times (1,24360X_1 + 1,53269X_2) \quad (8)$$

$$R^2=0,989; ES=0,88; F=787,8 \text{ при } P<0,05$$

$$t = | 29,0; 2,8; 3,3; 3,2; 11,2; 6,3; 9,5; 8,8; 12,6 | > t_{05}=1,96$$

где:

$DU$  – доля урожая по укосам, %;

$U_k$  – порядковый номер укоса;

$X_i$  – фиктивная переменная, кодирующая год выращивания люцерны.

$Z_i$  – фиктивная переменная, кодирующая вариант опыта.

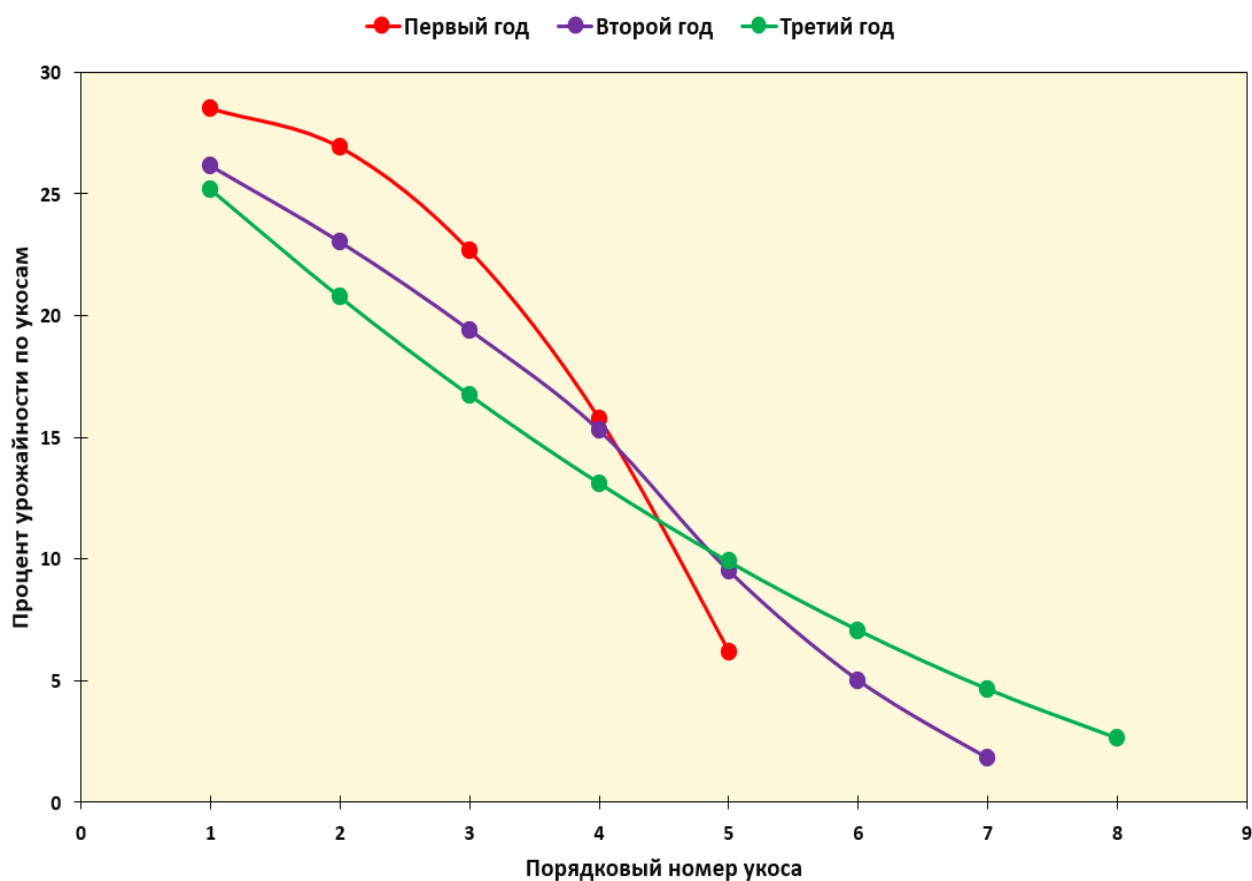


Рисунок 6.8 Зависимость процента урожайности от порядкового номера укоса по годам выращивания

Высокий показатель детерминации ( $R^2=0,989$ ), стандартная ошибка уравнения ( $ES=\pm 0,88$ ), значимость числовых коэффициентов ( $t > t_{05}=1,96$ ) свидетельствует о надежности модели (8). Линии регрессии полученной модели представлены на рисунке 6.8.

На графике показана зависимость доли урожайности по укосам от года выращивания люцерны. Проявляется чёткая динамика увеличения количества укосов с каждым годом. В первый год проведено 5 укосов, во второй – 6, а в третий год – 8 укосов.

Урожайность была наиболее сконцентрирована на среднем и позднем этапах роста люцерны, что соответствует укосам, проведённым в середине сезона (третьему и четвёртому укосам), когда растения достигли пика

своего развития. В третий год наблюдается более равномерное распределение урожайности по всем укосам.

Следует отметить, что фиктивные переменные ( $Z_i$ ), кодирующие варианты опытов, не являются значимыми. Объяснением этому является незначительная вариация различий в проценте урожайности (DU) между вариантами опыта в отличие от значительной вариации этого показателя по годам возделывания люцерны. Эти различия в вариации процента урожайности наглядно показаны на рисунке 6.9.

На графике сравниваются теоретические и эмпирические данные по распределению доли урожайности люцерны в зависимости от укосов и года выращивания. Теоретическая модель показывает высокую степень соответствия фактическим результатам, особенно в середине и конце сезона.

В первый год было проведено 5 укосов, и основной вклад в общий урожай пришёлся на второй и третий укосы. Во второй год (7 укосов) урожайность также достигла максимума на третьем и четвёртом укосах, а в третий год (8 укосов) – распределение урожайности было более равномерным по всем укосам, особенно на поздних стадиях.

Сопоставление теоретических результатов и эмпирических данных даёт чёткое представление о сезонной и 3-летней динамике структуры урожая люцерны по укосам, что позволяет прогнозировать результат с показателем детерминации 98,9% (рис. 6.10).

Данный график представляет оценку адекватности модели распределения урожайности по укосам и годам. Полученные эмпирические данные расположены близко к теоретическим значениям, что указывает на высокую точность регрессионной модели.

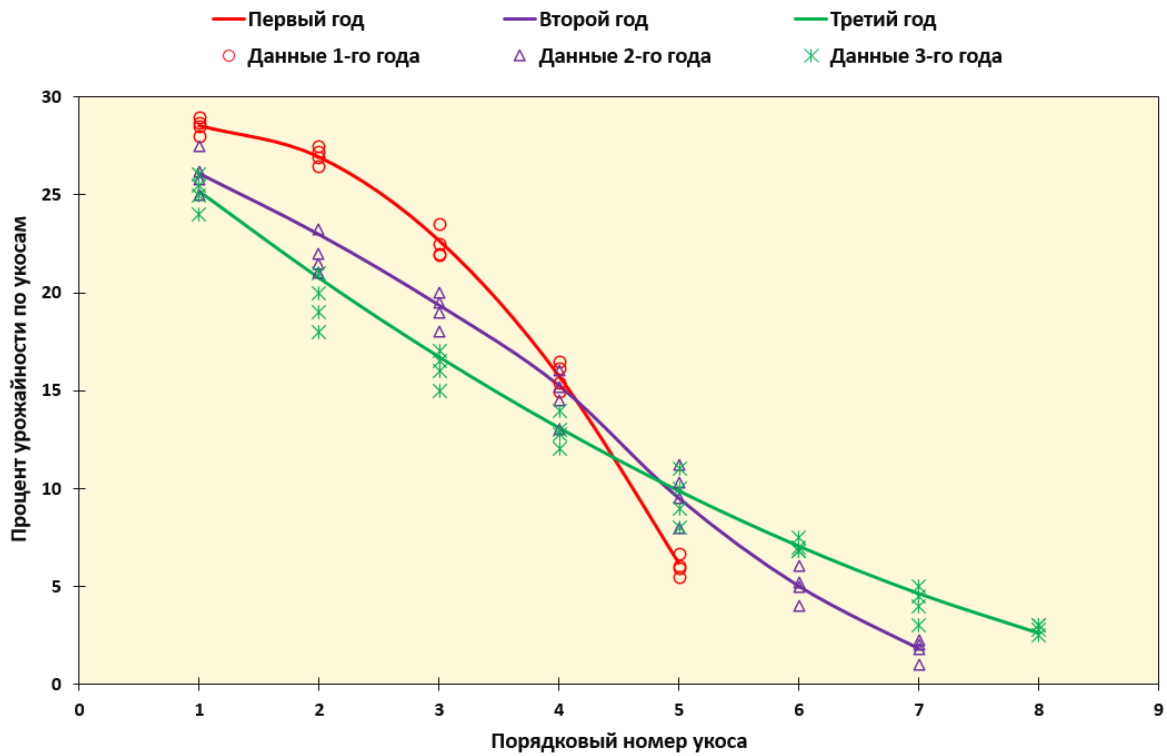


Рисунок 6.9 Сравнение теоретических данных доли урожайности люцерны по укосам (модель 8) и годам выращивания с эмпирическими данными

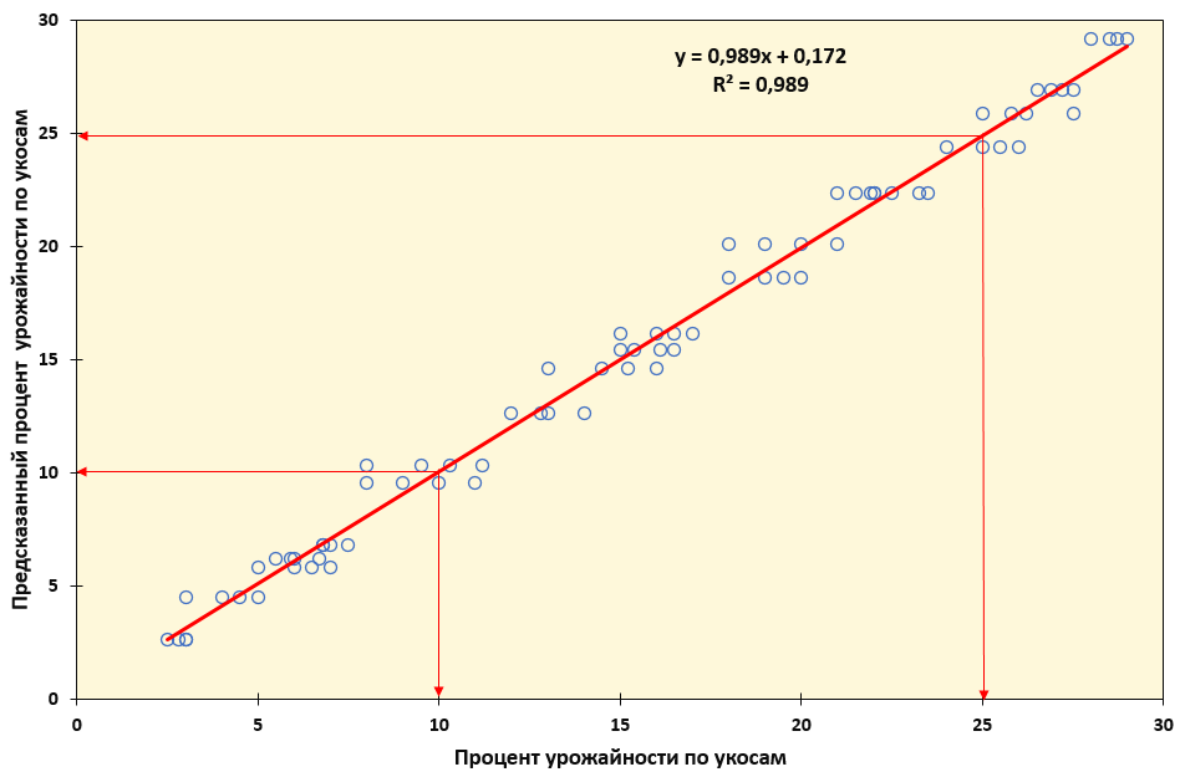


Рисунок 6.10 Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (8)

#### 1.4. Сравнение урожайности по условиям опыта

Для оценки распределения урожайности люцерны ( $U_r$ , т/га) по укосам ( $U_k$ ), трем годам возделывания и черырём вариантам применения биомелиорантов использовалась матрица бинарных переменных (табл. 6.5). Комбинация этих предикторов в уравнении множественной регрессии привела к статистической модели вида:

$$U_r = 1,66817 + 0,30986X_1 + 0,57164X_2 + 0,38444Z_1 + 0,36492Z_2 + 0,82996Z_3 + 0,22239U_k - 0,09875U_k^2 + U_k \times (-0,44885X_1 - 0,61567X_2) + U_k^2 \times (0,09193X_1 + 0,11661X_2) + U_k \times (-0,04669Z_1 - 0,04416Z_2 - 0,10771Z_3) \quad (9)$$

$$R^2 = 0,988; ES = \pm 8,2\%; F = 344,6 \text{ при } P < 0,05$$

$$t = | 17,4; 1,9; 5,5; 6,7; 6,3; 14,6; 3,3; 9,0; 4,4; 8,4; 6,2; 10,2; 3,4; 3,2; 8,0 | > t_{05} = 1,96$$

В отличие от модели (8) распределения процента урожайности ( $DU$ ) по укосам и годам выращивания ( $X_i$ ), в модели (9) варианты применения биомелиорантов, кодируемые фиктивной переменной  $Z_i$ , оказались статистически значимыми ( $t > t_{05} = 1,96$ ).

Сопоставление теоретически полученных ( $U_r$ ) значений урожайности результатов и эмпирических данных даёт чёткое представление о сезонной и 3-летней динамике структуры урожая люцерны по укосам, что позволяет прогнозировать результат с показателем детерминации 98,9% (рис. 6.11). Это позволило нам графически интерпретировать изменение абсолютных значений урожайности люцерны от трех предикторов в виде единой поверхности регрессии (рис. 6.12).

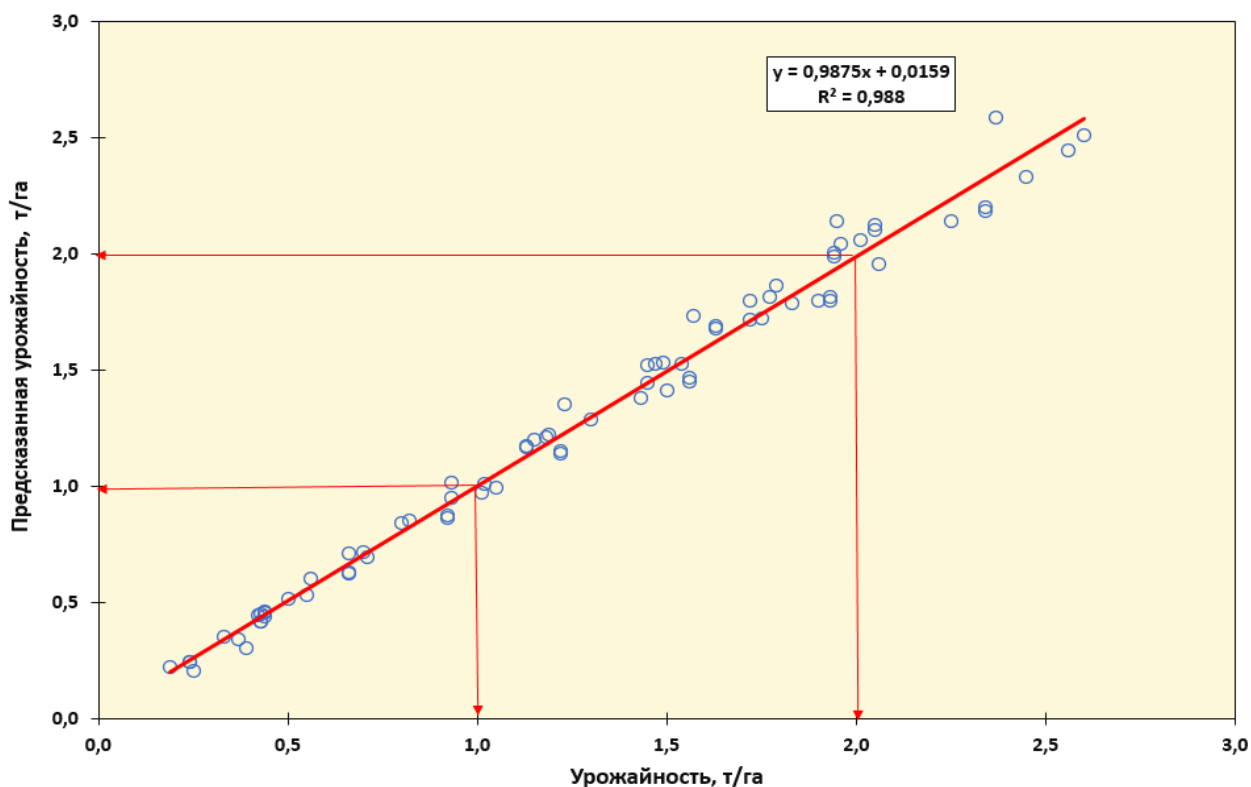


Рисунок 6.11 Квадрат оценки адекватности регрессионной модели (9)

На этом графике визуализирована регрессионная поверхность, отображающая зависимость урожайности люцерны от количества укосов, года выращивания и вариантов применения биомелиорантов.

Детальная оценка изменения урожайности от количества укосов на разных вариантах применения биомелиорантов в каждый из трех лет выращивания культуры представлена на рисунках 6.13, 6.14, 6.15.

На рисунке 7.13 представлена зависимость урожайности люцерны от количества укосов в первый год её выращивания (2020 год). В этом году было проведено 5 укосов, что позволило выявить начальную динамику урожайности на различных этапах роста растений.

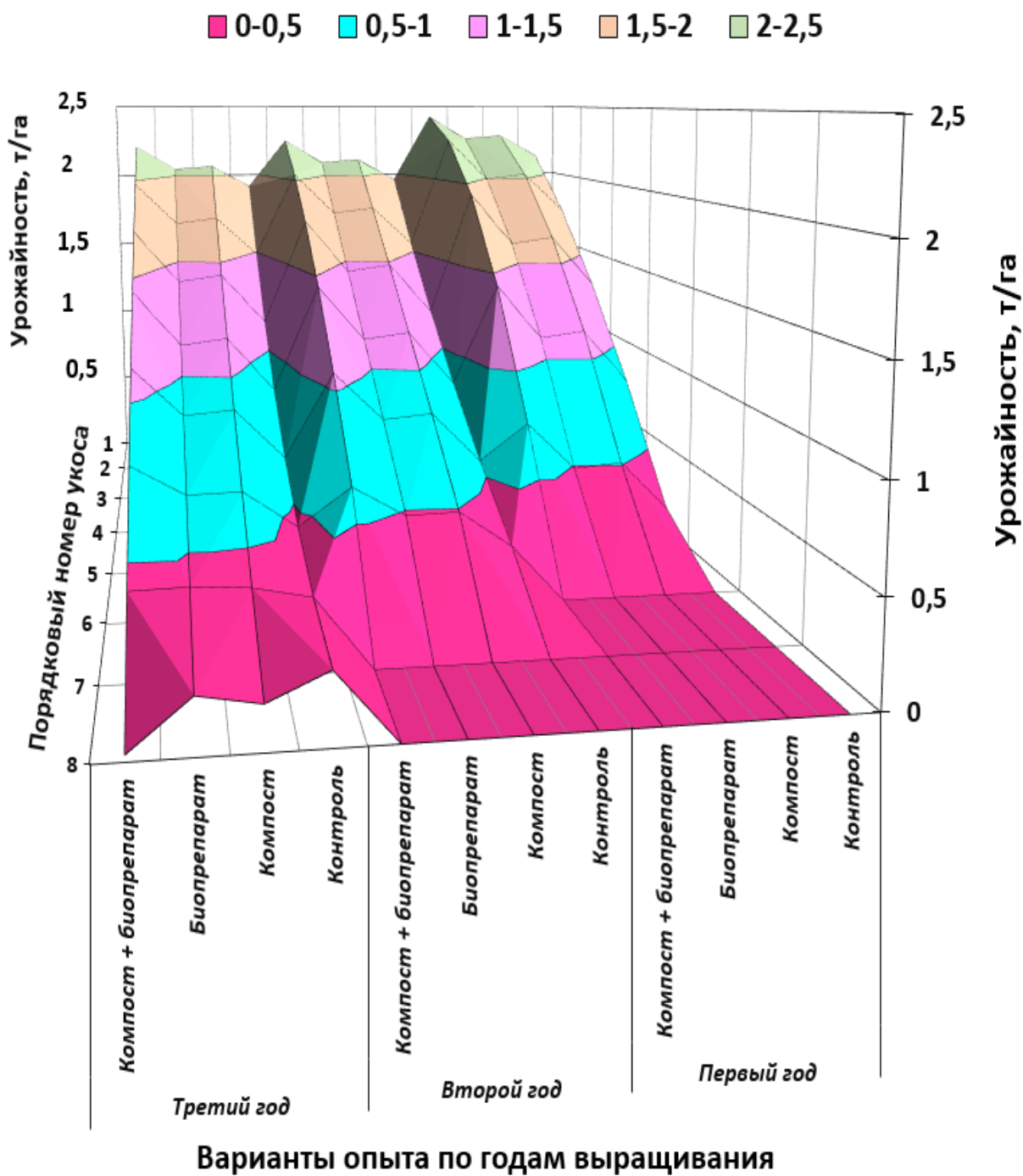


Рисунок 6.12 Поверхность регрессии изменения урожайности люцерны (т/га) в зависимости от количества укосов, года выращивания и вариантов внесения биомелиорантов

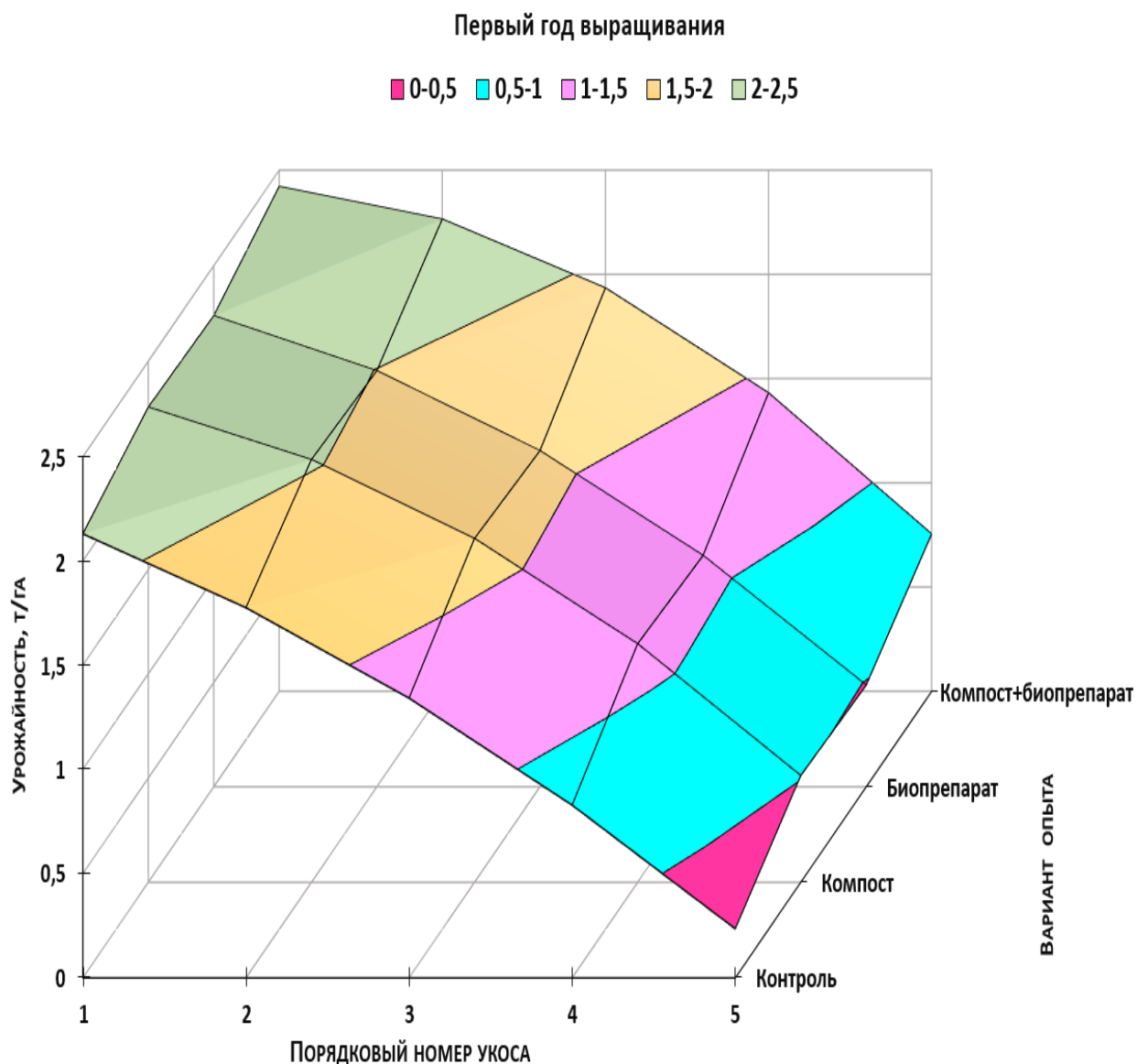


Рисунок 6.13 Зависимость урожайности от количества укосов по вариантам опыта в первый год выращивания люцерны

**Контрольный вариант** без применения биомелиорантов показал наименьшую урожайность на всех укосах. В первый год растения не имели достаточного количества питательных веществ, что отразилось на их росте. Наибольшая урожайность в контрольном варианте наблюдалась на первом укосе, но даже в этот период показатели оставались значительно ниже по сравнению с другими вариантами опыта. Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2, т/га, во втором - 2,0-1,5 т/га, в третьем - 1,5-1,0 т/га, в четвертом - 1,0-0,5 т/га, в пятом - менее 0,5 т/га.



**Вариант с компостом** продемонстрировал улучшенные результаты по сравнению с контролем. Урожайность была выше на всех укосах, особенно на первом и втором укосах, когда растения достигли фазы активного роста. Компост способствовал улучшению структуры почвы и обеспечивал растения необходимыми питательными веществами, что позволило им развиваться более равномерно. После второго укоса урожайность начала снижаться, что связано с истощением питательных веществ. Так, в первый и второй укосы урожайность составила 2,5-2, т/га, в третий - 2,0-1,5 т/га, в четвертый - 1,5-1,0 т/га, в пятый - 1,0-0,5 т/га.

**Вариант с биопрепаратами** также показал значительно более высокие показатели по сравнению с контролем. Наибольшая урожайность была достигнута на первом и втором укосе, а биопрепараты, содержащие штаммы бактерий, улучшили микробиологическую активность почвы, что способствовало лучшему усвоению питательных веществ растениями. Урожайность на ранних укосах также была выше, чем в контрольном варианте, что свидетельствует о положительном влиянии биопрепаратов на развитие растений с ранних этапов. Так, в первый и второй укосы урожайность составила 2,5-2, т/га, в третий - 2,0-1,5 т/га, в четвертый - 1,5-1,0 т/га, в пятый - 1,0-0,5 т/га.

**Комбинированный вариант (компост + биопрепараты)** показал наивысшую урожайность на всех укосах. Совместное использование компоста и биопрепаратов продемонстрировало синергетический эффект, который способствовал улучшению структуры почвы, увеличению содержания органического вещества и улучшению микробиологической активности. Урожайность начинает снижаться после третьего укоса оставаясь выше, чем на других вариантах опыта и оказывая положительное влияние на почву. Так, в первый и второй укосы урожайность составила 2,5-2, т/га, в третий - 2,0-1,5 т/га, в четвертый - 1,5-1,0 т/га, в пятый - 1,0-0,5 т/га.

Таким образом, в первый год выращивания люцерны (2020 год) количество укосов составило 5, и наиболее продуктивными оказались первые два укоса. Варианты с биомелиорантами (особенно с их комбинированным применением) показали значительное увеличение урожайности по сравнению с контролем. Это свидетельствует о том, что биомелиоранты улучшали как физико-химические свойства почвы, так и её биологическую активность, что обеспечило более интенсивный рост растений и стабильную урожайность.

На рисунке 6.14 представлена зависимость урожайности люцерны от количества укосов во второй год выращивания (2021 год). В этом году было проведено 6 укосов, и урожайность варьировалась в зависимости от применяемых биомелиорантов.

**Вариант с контролем (без биомелиорантов)** показал наименьшую урожайность на всех укосах. Наибольшая урожайность наблюдалась на 1 и 2 укосах, что объясняется достижением пика роста растений в этот период. Однако после 2 укоса урожайность снижаться, что связано с исчерпанием питательных ресурсов почвы. Так, в первом и втором укосе урожайность составила 2,0-1,5 т/га, в третьем - 1,5-1,0 т/га, в четвертом и пятом - 1,0-0,5 т/га, а в шестом - менее 0,5 т/га.

**Вариант с компостом** показал более высокие значения урожайности по сравнению с контролем, особенно на 1, 2 и 3 укосах. Это свидетельствует о положительном влиянии компоста на улучшение структуры почвы и её плодородия. Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, во втором 2,0-1,5 т/га, в третьем - 1,5-1,0 т/га, в четвертом и пятом - 1,0-0,5 т/га, в пятом и шестом 1,0-0,5 т/га, в в седьмом укосе менее 0,5 т/га.

## Второй год выращивания

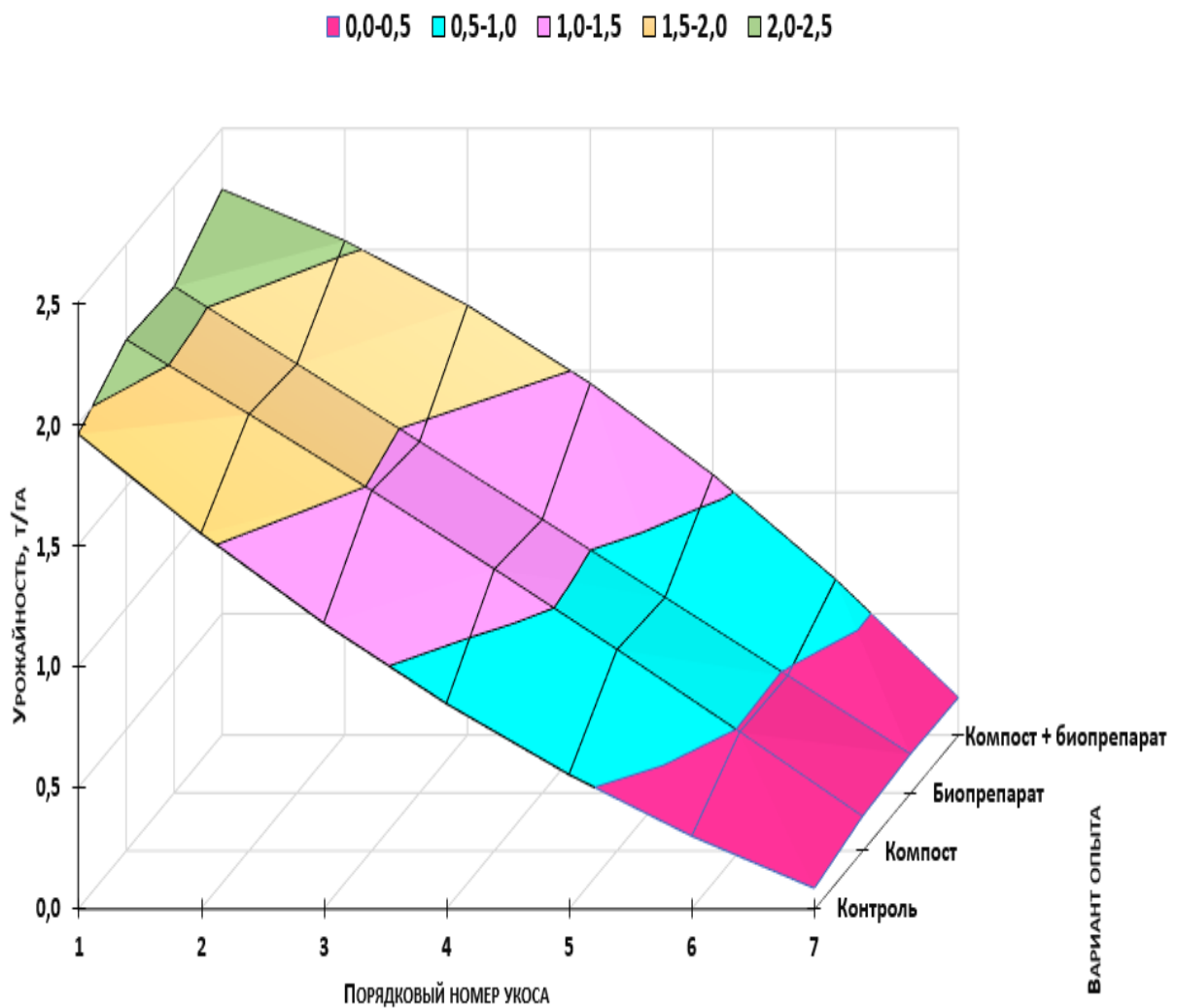


Рисунок 6.14 Зависимость урожайности от количества укосов по вариантам опыта во второй год выращивания люцерны

**Вариант с биопрепаратами** также показал значительное улучшение урожайности по сравнению с контролем, особенно на ранних укосах (1, 2 и 3 укосы). Биопрепараты способствовали улучшению микробиологической активности почвы, что обеспечивало лучшую доступность питательных веществ для растений. Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, во втором - 2,0-1,5 т/га, в третьем и четвертом и пятом - 1,5-1,0 т/га - в шестом - 1,0-0,5 т/га, в седьмом укосе менее 0,5 т/га.

**Комбинированный вариант (компост + биопрепараты)** показал наибольшую урожайность на всех этапах. Максимальные показатели

урожайности были достигнуты на 1 и 2 укосах, что свидетельствует о синергетическом эффекте совместного применения биомелиорантов.

Так, в первом и втором укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, в третьем - 2,0-1,5 т/га, в четвертом и пятом - 1,5-1,0 т/га, - в шестом - 1,0-0,5 т/га, в седьмом укосе менее 0,5 т/га.

Таким образом, во второй год выращивания люцерны наибольшая продуктивность была достигнута в вариантах с биомелиорантами, особенно в комбинации компоста и биопрепаратов. Наиболее результативными оказались первые три укоса, когда растения находились на пике своего развития.

На рисунке 6.15 представлена зависимость урожайности люцерны от количества укосов в третий год выращивания (2022 год). В третий год было проведено 8 укосов, что позволило более детально проанализировать динамику урожайности в течение всего сезона.

**Контрольный вариант** показал наименьшую урожайность на всех укосах. Урожайность была ниже, чем в вариантах с биомелиорантами на всех укосах, когда почвенные ресурсы уже истощены, а растения не получали достаточного количества питательных веществ.

Так, в первом и втором укосах урожайность составила 2,0-1,5 т/га, в третьем 1,5-1,0 т/га, в четвертом, пятом - 1,0-0,5 т/га, в шестом, седьмом и восьмом - менее 0,5 т/га.

**Вариант с компостом** продемонстрировал значительно лучшую урожайность на всех укосах по сравнению с контролем. Наибольшая урожайность была достигнута на первых укосах и с увеличением порядкового номера укоса урожайность снижалась. Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, во втором - 2,0-1,5 т/га, в третьем и четвертом - 1,5-1,0 т/га, в пятом, шестом - 1,0-0,5 т/га, в седьмом, восьмом - меньше 0,5 т/га.

**Вариант с биопрепаратами** также показал улучшенные результаты, особенно на ранних укосах. Биопрепараты усиливали микробиологические процессы в почве, что способствовало более эффективному использованию питательных веществ растениями.

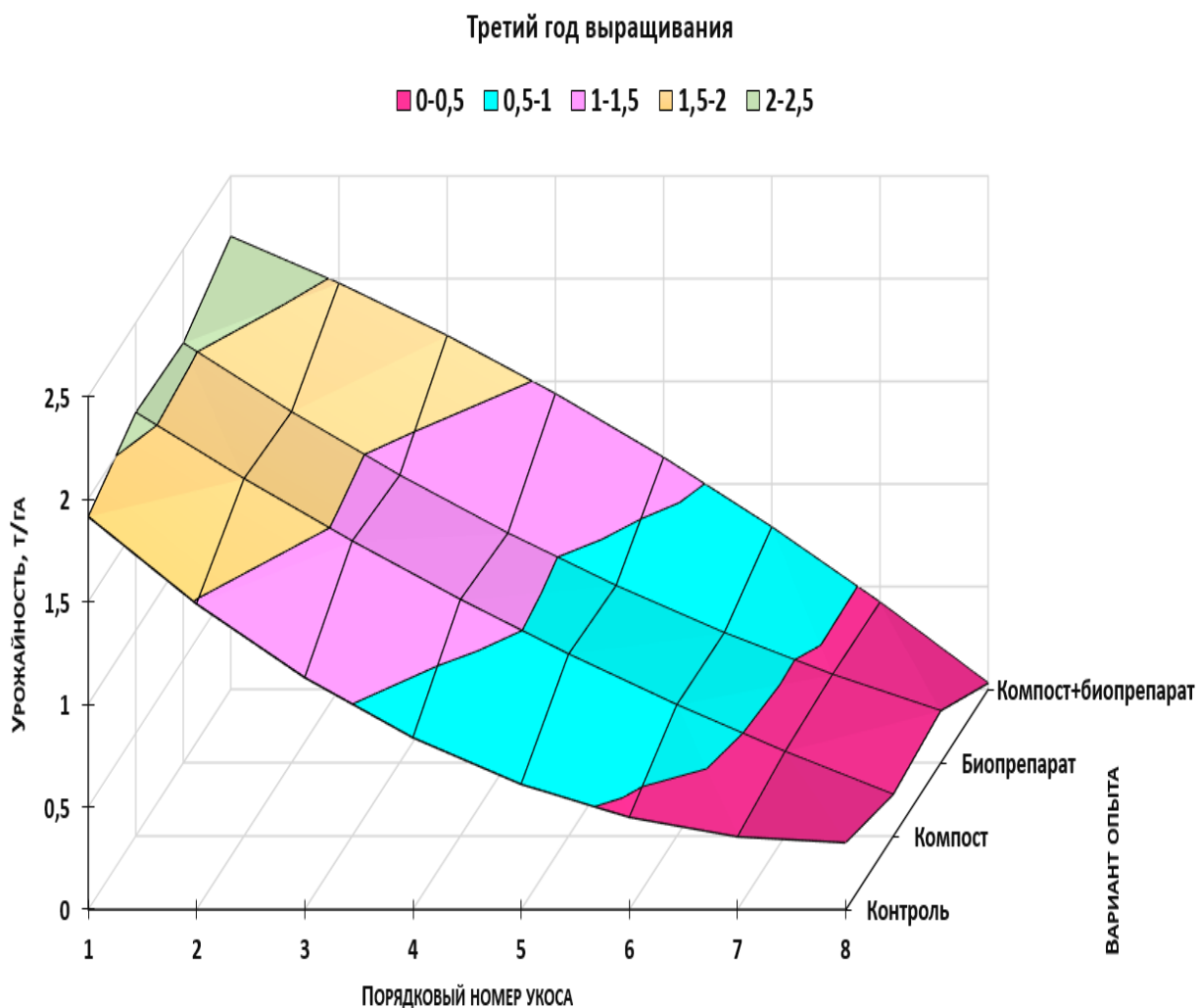


Рисунок 6.15 Зависимость урожайности от количества укосов по вариантам опыта в третий год выращивания люцерны

Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, во втором - 2-1,5 т/га, в третьем и четвертом - 1,5-1,0 т/га, в пятом и шестом - 1,0-0,5 т/га, в седьмом и восьмом - 0,5 т/га в восьмом.

**Комбинированный вариант (компост + биопрепараты)** продемонстрировал наивысшую урожайность на всех укосах, особенно на ранних стадиях. Это объясняется тем, что почва, улучшенная как

органическими, так и биологическими компонентами, поддерживала оптимальные условия для роста растений на протяжении всего сезона. Урожайность оставалась выше урожайности на других вариантах опыта. Устойчивый эффект от применения биомелиорантов проявляется на всех укосах. Так, в первом укосе урожайность составила 2,5-2,0 т/га, во втором и третьем - 2-1,5 т/га, в четвертом и пятом - 1,5-1,0 т/га, в шестом 1,0-0,5, в седьмом и восьмом - менее 0,5 т/га.

Таким образом, в третий год выращивания люцерны количество укосов достигло максимума, и наибольшая урожайность была достигнута на вариантах с биомелиорантами, особенно при комбинированном использовании компоста и биопрепаратов.

Резюмируя изложенное, укажем на влияние укосов на сезонную динамику урожайности люцерны. С каждым годом количество укосов увеличивалось: 5 укосов в первый год, 7 во второй и 8 в третий. Это позволило распределить нагрузку на растения более равномерно, что привело к увеличению общего урожая. Наибольший вклад в продуктивность вносили укосы, проведённые в середине и конце сезона, когда растения достигли своего пика развития.

Максимальная урожайность была достигнута на третий год благодаря накопительному эффекту от применения биомелиорантов и улучшению состояния почвы. В первый год урожайность была наименее высокой, однако применение компоста и биопрепаратов обеспечило устойчивый рост на протяжении трёх лет.

Биомелиоранты способствовали активному улучшению физико-химических свойств почвы, в том числе снижению её засоленности и повышению водоудерживающей способности. Это улучшило доступность воды и питательных веществ для растений, что привело к увеличению урожайности и эффективности использования воды. Применение биомелиорантов оказывало прямое влияние на снижение водопотребления и

повышение урожайности. Регрессионные модели продемонстрировали, что совместное использование компоста и биопрепаратов значительно улучшает водоудерживающие свойства почвы, что приводит к более рациональному использованию ресурсов и повышению продуктивности растений.

### **Выводы**

1. В первый год эксперимента (2020 г.) количество укосов составило 5, а максимальная урожайность была зафиксирована на первых двух укосах. Это связано с наиболее благоприятными условиями роста в начале сезона. Во второй год (2021 г.) число укосов увеличилось до 7, в третий год (2022 г.) количество укосов достигло 8, и урожайность постепенно снижалась по укосам на протяжении всего сезона. Это указывает на естественное старение растений.

2. На контрольных участках (без применения биомелиорантов) урожайность оставалась наименее высокой и снижалась к концу сезона из-за истощения почвенных ресурсов. Вариант с применением компоста обеспечил более равномерное распределение урожайности благодаря улучшению содержания органического вещества и структуры почвы. Вариант с биопрепаратами показал значительное увеличение урожайности, особенно на ранних укосах, благодаря активации микробиологических процессов в почве. Комбинированное применение компоста и биопрепаратов продемонстрировало наибольшую урожайность на всех укосах за счёт синергетического эффекта, улучшающего физико-химические свойства и биологическую активность почвы.

3. В начале каждого сезона (1-й и 2-й укосы) урожайность была выше, что связано с накоплением ресурсов в почве после зимнего периода. Урожайность снижалась на поздних укосах (5-й и последующие), что связано с естественным истощением почвенных ресурсов и фазой старения растений.

4. Построенные регрессионные модели показали высокую точность в прогнозировании урожайности люцерны по укосам, годам выращивания и вариантам опыта, с коэффициентом детерминации  $R^2=0,988$ . Результаты анализа подтверждают, что использование биомелиорантов способствует увеличению урожайности люцерны, улучшая её распределение в течение сезона.



## 2. ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ЛЮЦЕРНЫ НА ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВАХ

### 2.1. Методика оценки климатических и водных потребностей люцерны

Для эффективного управления водными ресурсами и оценки сельскохозяйственного производства важно учитывать региональные климатические особенности, особенно в засушливых и полузасушливых районах. В условиях климатических различий между регионами Сирии и Ливана, таких как Латакия, Тир и Дейр-эз-Зор, расчёт водного баланса и эффективности водопотребления люцерны требует тщательного анализа локальных факторов, влияющих на водопотребление растений. Эти регионы существенно различаются по количеству осадков, температурным режимам и типам почв, что непосредственно сказывается на водном балансе и стратегии орошения. Географическое месторасположение указанных районов представлено на карте (Рис. 7.1).

Так, Латакия, расположенная на Средиземноморском побережье Сирии, характеризуется мягким и влажным климатом, с относительно высокими годовыми осадками, достигающими 800–1000 мм. Этот район имеет умеренные зимы и тёплое лето, что создаёт благоприятные условия для выращивания люцерны, снижая необходимость интенсивного орошения в определённые периоды года.

Тир, находящийся на побережье Ливана, также попадает под влияние средиземноморского климата, но имеет несколько более засушливые условия по сравнению с Латакией. Годовые осадки здесь варьируются в пределах 600–700 мм, при этом температурные колебания также влияют на

динамику водопотребления культур, включая люцерну. Водный баланс в этом регионе требует более точной настройки систем орошения, особенно в летние месяцы.

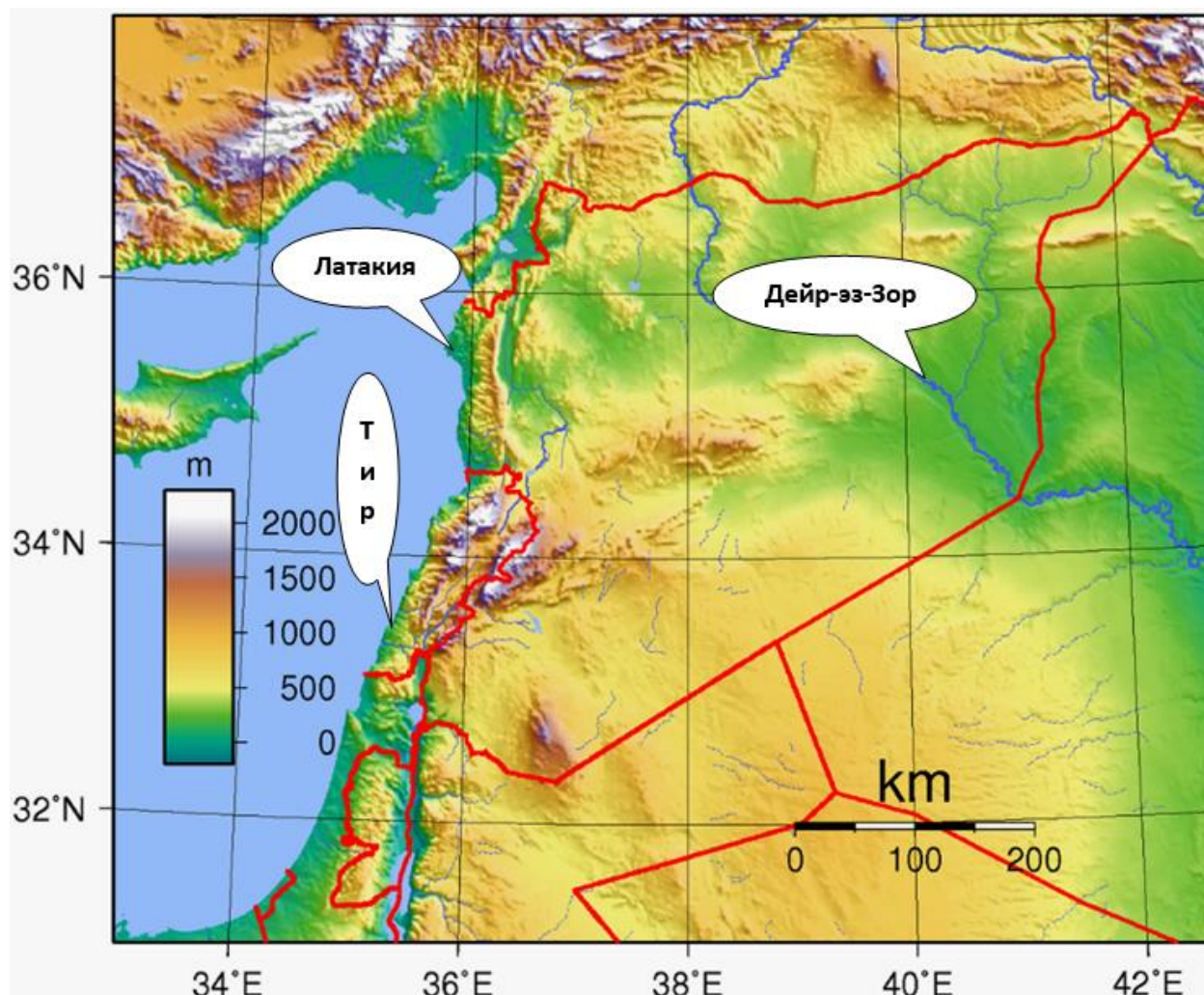


Рисунок 7.1. Месторасположение районов, для которых проведена оценка водопотребления люцерны

Дейр-эз-Зор, расположенный на востоке Сирии, представляет собой полусухую и аридную зону с крайне низким уровнем осадков — около 150–200 мм в год. Высокие летние температуры и ограниченные водные ресурсы обуславливают необходимость использования высокоэффективных методов орошения и расчётов водного баланса для обеспечения адекватного водоснабжения сельскохозяйственных культур.

Так, для расчёта водопотребления люцерны в условиях аридного климата учитываются следующие ключевые показатели: количество укосов, урожайность по укосам (т/га), эвапотранспирация (ЕТс), и количество осадков. Эвапотранспирация (ЕТс) включает как испарение воды с поверхности почвы, так и транспирацию растений, и играет ключевую роль в оценке водных потребностей культуры.

Для начала рассмотрим общую методологию оценки водопотребления люцерны, включая указанные факторы.

### **Шаги расчёта водопотребления**

#### ***Оценка урожайности по укосам***

Урожайность люцерны (т/га) измеряется по каждому укосу. Эти данные необходимы для оценки общей продуктивности и потребления воды растениями на каждом этапе роста. Количество укосов (обычно 5-8 за сезон) определяет периодичность сбора урожая и напрямую влияет на водопотребление, так как каждый укос требует определённого количества воды для поддержания роста растений.

#### ***Расчёт эвапотранспирации (ЕТс)***

Эвапотранспирация (ЕТс) представляет собой суммарное количество воды, которое теряется через испарение и транспирацию на всех этапах роста люцерны. Она зависит от климатических условий (температуры, влажности, солнечной радиации) и может быть определена либо лизиметрическим методом, либо расчётным путём с использованием модифицированного уравнения Монтейга-Пенмана.

Формула для расчёта ЕТс:

$$ЕТс = Кс \times ЕТо$$

где:

- Кс - коэффициент культуры, который зависит от стадии роста люцерны (всходов и проростков, активного роста и цветения, поздней стадии роста);

•  $E_{To}$  - базовая эвапотранспирация для контрольных условий, рассчитанная на основе климатических данных.

В среднем для люцерны  $K_s$  составляет 0,4 на стадии всходов и проростков, 0,95 на стадии активного роста и 0,9 на поздней стадии роста, но значения могут корректироваться в зависимости от климатических условий и особенностей агротехники.

### ***Учёт количества осадков***

Количество осадков ( $P$ , мм или куб. м/га) также учитывается в расчётах водопотребления. Осадки могут частично компенсировать потребности в поливе, особенно на ранних этапах роста.

Расчёт фактического водопотребления с учётом осадков:

$$E_{T_{\text{полив}}} = E_{Tc} - P$$

где:

$P$  - сумма осадков за период (куб. м/га или мм).

### ***Расчёт объёма воды для полива (OPL)***

Поливная норма ( $OPL$ ) определяется как разница между фактическими потерями воды через эвапотранспирацию и количеством осадков:

$$OPL = E_{T_{\text{полив}}} \times A$$

где:

$E_{T_{\text{полив}}}$  - потребность в воде на каждый этап роста, скорректированная на осадки;

$A$  - площадь участка (га).

Поливную норму рассчитывают на каждую стадию роста (всходы-проростки, активный рост – цветение, поздняя стадия роста), а затем суммируют для получения общего водопотребления за сезон.

### ***Соотношение объёма воды для полива и объёма эвапотранспирации***

Объём воды для полива ( $OPL$ ) и эвапотранспирация ( $E_{Tc}$ ) находятся в прямой зависимости. Общий объём воды, необходимой для полива,

определяется как разница между эвапотранспирацией и количеством осадков. Чем меньше осадков, тем больше объём поливной воды. Для аридного климата, где количество осадков минимально, поливное водопотребление практически совпадает с эвапотранспирацией.

Формула связи между поливом и эвапотранспирацией:

$$OPL = ET_c - P$$

Если количество осадков близко к нулю, то  $OPL \approx ET_c$ .

Как видим, главным показателем водного баланса при выращивании сельскохозяйственных культур является эвапотранспирация на контрольных участках. Как уже было указано выше, в настоящее время существует два способа её определения. С использованием лизиметров и расчётным путём.

### *Лизиметрический метод*

Лизиметрический метод является одним из наиболее точных и распространённых методов для измерения эвапотранспирации - совокупности испарения воды с поверхности почвы и транспирации растениями. Лизиметры представляют собой специальные ёмкости, которые встраиваются в почву для контроля за её водным балансом и измерения потерь влаги. Данный метод позволяет детально отслеживать количество воды, которое поступает и покидает почвенно-растительную систему.

Контроль эвапотранспирации включает несколько этапов:

1. Установка лизиметра. Лизиметр представляет собой цилиндр или прямоугольную ёмкость, заполненную почвой, идентичной естественному грунту в экспериментальной зоне. В эту ёмкость высаживают растения, аналогичные тем, что растут на опытном поле (в нашем случае, люцерна). Лизиметр вкапывают в землю таким образом, чтобы его верхняя часть была на уровне поверхности почвы. Это позволяет сохранять естественные условия для растения и почвы внутри устройства.

2. Измерение поступления воды. Количество воды, поступающей в почву, измеряют путём регистрации объёма осадков (атмосферные осадки

или полив) и контролируемого орошения. Современные лизиметры часто оснащены датчиками, которые регистрируют влагу, поступающую в почвенную систему.

3. Измерение стока и инфильтрации. В нижней части лизиметра устанавливается дренажная система, позволяющая собирать и измерять объём воды, который выходит из почвы через инфильтрацию или сток. Этот процесс позволяет учесть потерю влаги, не используемой растениями.

4. Определение эвапотранспирации. Эвапотранспирация (ЕТо) рассчитывается по следующему балансу:

$$ETo = P + I - D - \Delta S$$

где:

P - осадки;

I - искусственное орошение;

D - дренаж (количество воды, потерянное через сток или инфильтрацию);

$\Delta S$  - изменение содержания воды в почве.

5. Контрольные условия. для получения достоверных результатов важно использовать контрольные лизиметры, на которых нет растений. Это позволяет измерить чистое испарение с поверхности почвы. Контрольные данные затем сравниваются с результатами лизиметров с растениями для определения доли транспирации в общем водопотреблении.

Использование лизиметров даёт возможность напрямую измерять водные потери с высоким уровнем точности, учитывая все факторы, влияющие на водный баланс почвы и растений, что делает его незаменимым инструментом в исследованиях агрономической эффективности водопотребления.

### ***Определение эвапотранспирации на контроле расчётным путём по формуле Пенмана- Монтейта***

Формула Монтейта - Пенмана является одним из наиболее широко используемых аналитических выражений для расчёта эвапотранспирации ( $ET_0$ ) с поверхности почвы и растительности. Этот метод учитывает множество климатических и физиологических факторов, таких как радиационный баланс, температуру, влажность воздуха, скорость ветра и сопротивление растений транспирации.

Общий вид уравнения Пенмана - Монтейта представлен следующим образом:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (10)$$

где:

$ET_0$  - общее испарение люцерны на контроле,

$\Delta$  - угол наклона кривой зависимости давления насыщенного пара от температуры воздуха ( $\text{кПа} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$G$  - тепловой поток на поверхности почвы ( $\text{МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ );

$T$  - среднесуточная температура воздуха на высоте 1,5-2,5 м ( $^\circ\text{C}$ );

$u_2$  - среднесуточная скорость ветра на высоте 2 м ( $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ );

$R_n$  - расчётная суммарная радиация на поверхности посева ( $\text{МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ );

$e_s$  - давление насыщенного пара ( $\text{кПа}$ );

$(e_s - e_a)$  - дефицит давления пара ( $\text{кПа}$ );

$\gamma$  - психрометрическая постоянная ( $\text{кПа} \cdot \text{C}^{-1}$ ).

#### ***Ключевые параметры уравнения Пенмана - Монтейта и их значение***

1. Чистая радиация ( $R_n$ ): радиация, доступная для испарения и транспирации, рассчитывается на основе входящих и исходящих потоков

солнечной энергии. Это основной источник энергии для процесса эвапотранспирации.

2. Температура воздуха ( $T$ ): чем выше температура воздуха, тем больше потенциал испарения и транспирации.

3. Скорость ветра ( $u_2$ ): ветер увеличивает испарение за счёт уменьшения влажности воздуха и усиления конвективного теплообмена между растениями и окружающей средой.

4. Давление насыщенного водяного пара ( $e_s$ ) и фактическое давление водяного пара ( $e_a$ ): эти параметры определяют дефицит насыщения воздуха, т.е. насколько далеко воздух от насыщения водяным паром. Чем больше разница, тем выше испарение.

5. Наклон кривой насыщенного водяного пара к температуре ( $\Delta$ ): этот параметр показывает, как изменяется давление водяного пара с температурой воздуха. При высоких температурах воздух способен удерживать больше влаги, что усиливает эвапотранспирацию.

6. Психрометрическая константа ( $\gamma$ ): этот параметр связывает тепловые процессы и влажность воздуха, помогая сбалансировать влияние тепла и водяного пара на эвапотранспирацию.

### ***Применение для контроля***

Для контроля эвапотранспирации на опытном участке можно использовать эталонную эвапотранспирацию ( $ET_0$ ) - это расчётное значение для условий стандартной культуры (например, газонной травы) при оптимальных условиях водоснабжения. Результаты расчёта  $ET_0$  по формуле Монтейта-Пенмана используются как контрольное значение для сравнения с фактической эвапотранспирацией конкретной культуры (люцерны в нашем случае).

Преимущество этого метода заключается в том, что он учитывает ключевые климатические параметры, и его можно применять для различных



регионов и типов почвы, что делает его универсальным инструментом в агроклиматических исследованиях.

В результате исследования, проведённого в зоне умеренного увлажнения на побережье Средиземного моря (Аль-Кадж Асаад, 1974), были получены уравнения регрессии (11), (12) и (13) изменения общего испарения (ЕТо) по месяцам (М) как лизиметрическим методом, так и путём расчёта с использованием уравнения Пенмана - Монтейта.

#### Лизиметрический метод

$$E_{To} = \exp(2,22121 + 5,13260 \ln M - 6,88270 \ln^2 M + 4,66031 \ln^3 M - 1,06717 \ln^4 M) \quad (11)$$

$$R^2 = 0,993$$

#### Латакия - Пенман

$$E_{To} = \exp(-0,11424 + 13,91136 \ln M - 16,28179 \ln^2 M + 8,59081 \ln^3 M - 1,63175 \ln^4 M) \quad (12)$$

$$R^2 = 0,996$$

#### Тир - Пенман

$$E_{To} = \exp(-1,81251 + 17,34332 \ln M - 19,43884 \ln^2 M + 10,02088 \ln^3 M - 1,88863 \ln^4 M) \quad (13)$$

$$R^2 = 0,999$$

Параметры эвапотранспирации представленные в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Изменение параметров эвапотранспирации по месяцам года

Месяц	Метод и место определения ЕТо (мм/месяц)		
	Лизиметр	Латакия Пенмана - Монтейта	Тир Пенмана - Монтейта
II	43,7	66,0	43,4
III	65,2	92,9	74,9
IV	97,9	114,6	99,0
V	137,2	143,5	128,1
VI	169,0	170,6	153,5
VII	178,5	182,6	162,0
VIII	161,3	171,7	146,7
IX	125,6	140,3	113,0
X	85,1	99,7	74,1
XI	50,7	61,8	41,6
За II-XI	1114,2	1243,8	1036,1
В куб. м/га	11142,0	12438,1	10361,0

Графическая интерпретация изменений ЕТо по месяцам и регионам средиземноморского побережья представлена на рисунках 7.2; 7.3; 7.4; 7.5.

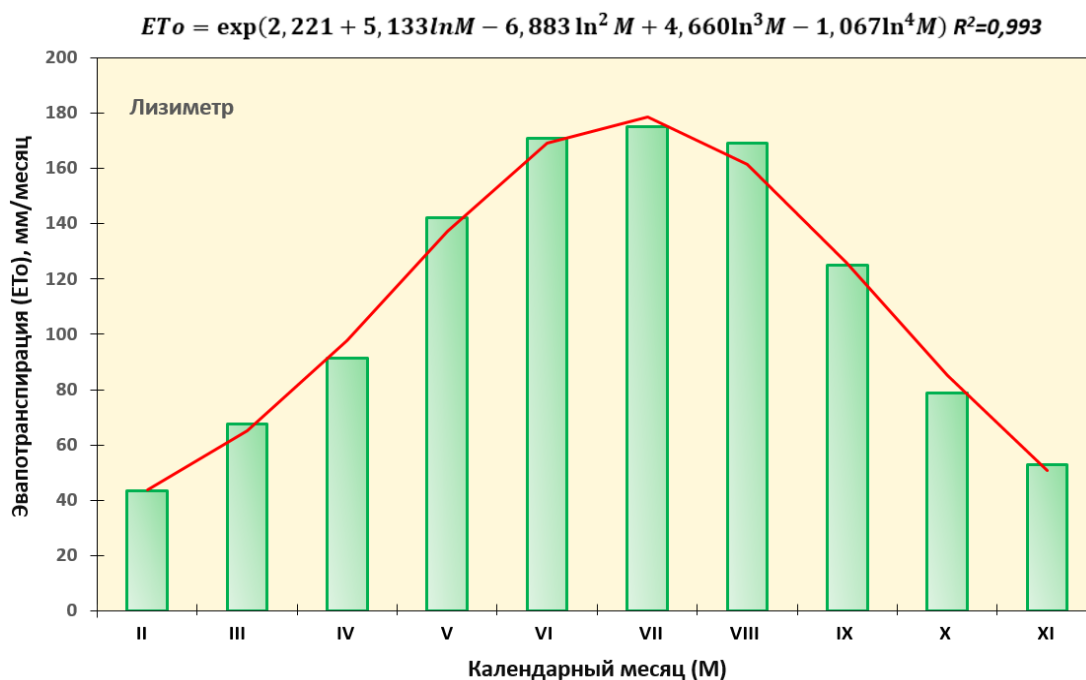


Рисунок 7.2. Распределение эвапотранспирации по месяцам в зоне умеренного увлажнения по данным лизиметрического метода

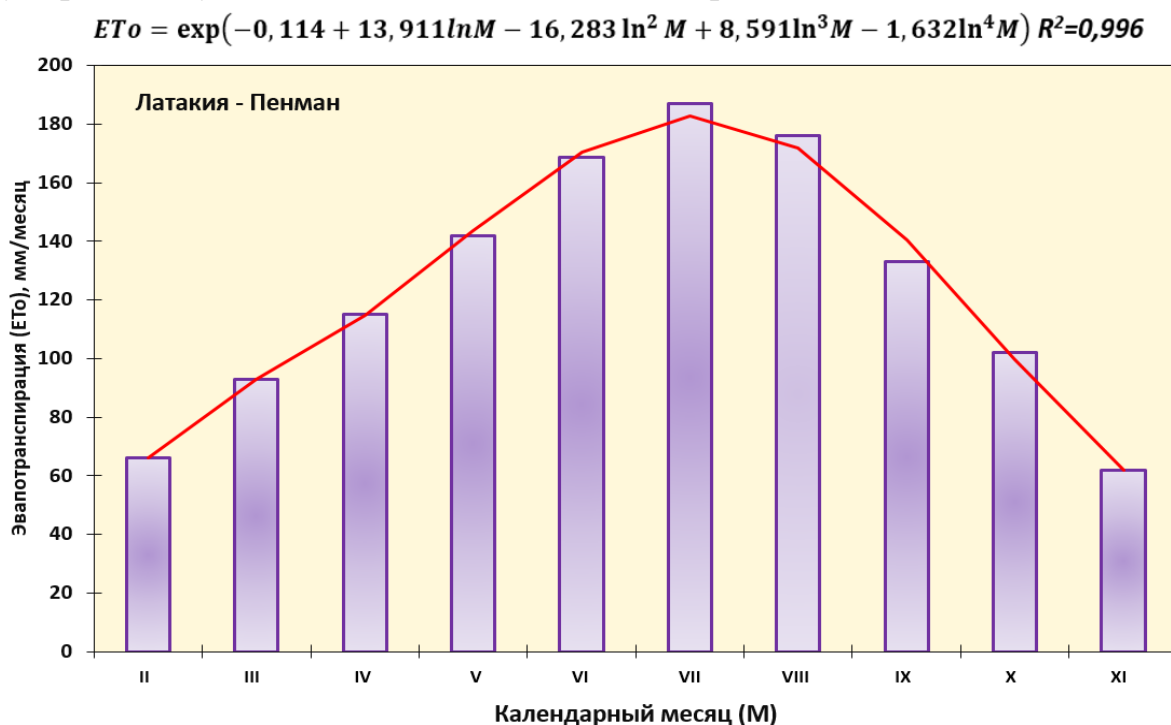


Рисунок 7.3. Распределение эвапотранспирации как контроле по месяцам в зоне умеренного увлажнения (Сирия)

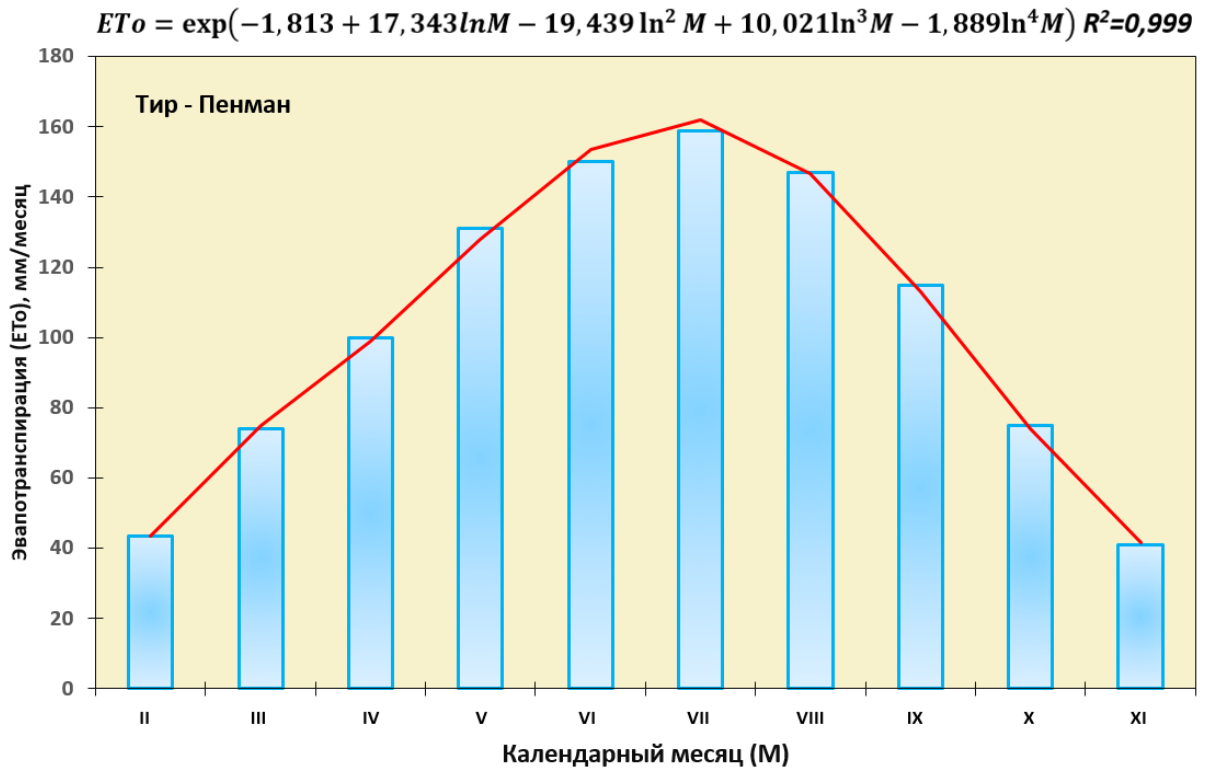


Рисунок 7.4. Распределение эвапотранспирации как контроле по месяцам в зоне умеренного увлажнения (Ливан)

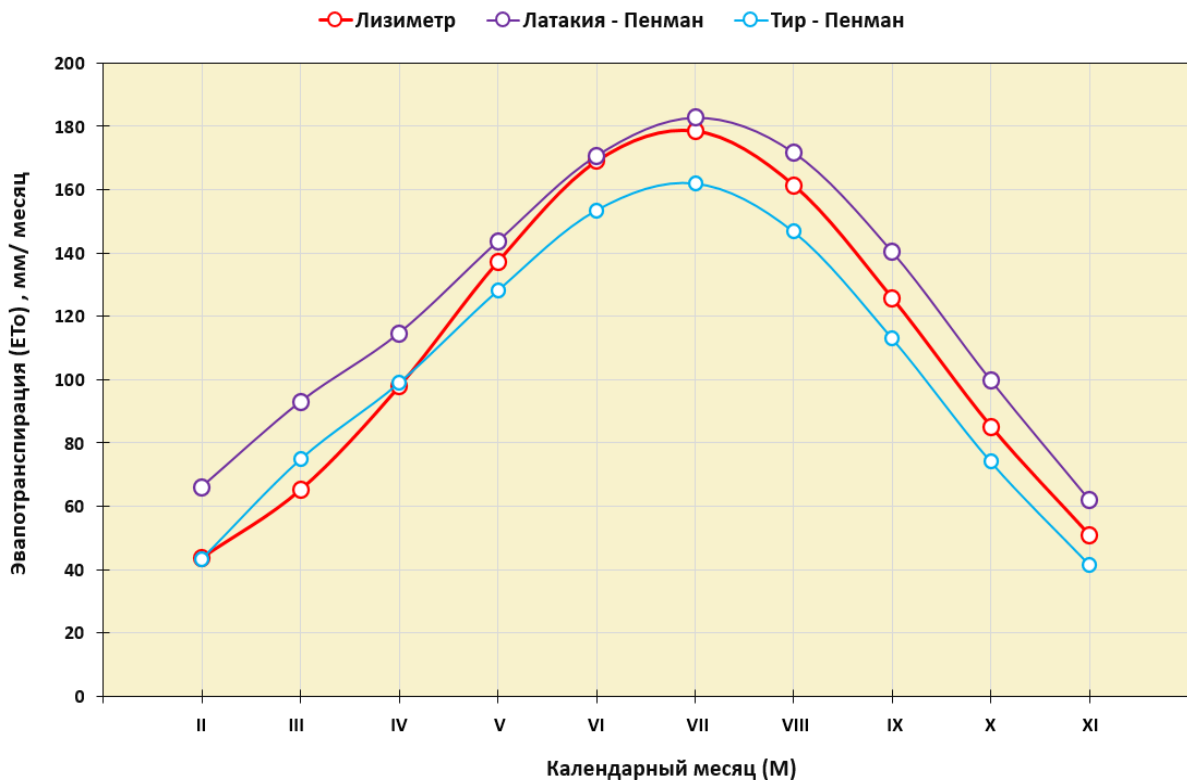


Рисунок 7.5. Сравнение данных эвапотранспирации по месяцам на контроле по месяцам в зоне средней увлажнённости (по регионам Средиземноморья)

Суммарное испарение люцерны (ET<sub>c</sub>) отличается от общего испарения люцерны на контроле (ET<sub>0</sub>) из-за различий в альbedo, высоте растений, аэродинамических свойствах, а также свойствах листьев и устьиц, общего испарения полностью выросших (орошаемых) культур в разных условиях.

Формула суммарного испарения люцерны (ET<sub>c</sub>) предложена Sakellariou - Makrantonaki (2006) и его величина определяется как произведение общего испарения люцерны на контроле на средний базовый коэффициент урожайности люцерны:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

На основе значений суммарного испарения для контроля и базовых коэффициентов урожайности люцерны по стадиям роста (0,40; 0,95; 0,90) была получена оценка потребности люцерны в воде (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Расчёт потребности люцерны в воде по стадиям роста за счёт эвапотранспирации, рассчитанной лизиметрическим методом для зоны средней увлажнённости (Латакия)

Год выращивания	Стадия роста	Базовый коэффициент урожайности K <sub>c</sub>	Базовая эвапотранспирация для контроля ET <sub>0</sub> (м <sup>3</sup> /га)	Потребность люцерны в воде ET <sub>c</sub> (м <sup>3</sup> /га)
Первый, 2020 год	Всходы	0,40	11142,2	4456,8
	Активный рост-цветение	0,95		10585,1
	Стадия зрелости	0,90		10027,9
Второй, 2021 год	Проростки	0,40	10634,8	4041,2
	Активный рост-цветение	0,95		10103,1
	Стадия зрелости	0,90		9571,3
Третий, 2022 год	Проростки	0,40	9886,0	3954,4
	Активный рост-цветение	0,95		9391,7

	Стадия зрелости	0,90		8897,4
--	-----------------	------	--	--------

Распределение потребности люцерны в оросительной воде по срокам скашивания связано с календарными датами (табл. 7.4).

В климатических условиях Сирии, как правило, проводится трёхлетнее выращивание культуры. Количество поливов тесно связано с числом скашиваний за годы выращивания, сроками прохождения фенологических фаз и динамикой роста люцерны.

В отличие от климатических условий Средиземноморья (Латакия, Тир), которые характерны для зоны среднего увлажнения для засушливой зоны Сирии в районе Дейр-эз-Зора, расчёт водного баланса и эффективности водопотребления люцерны требует тщательного анализа факторов, влияющих на потребление воды растениями.

## 2.2. Расчёт эвапотранспирации для оптимизации водопотребления

Методика определения эвапотранспирации по месяцам трёх лет выращивания люцерны включает расчёт комплекса агрометеорологических параметров по формуле Пенмана - Монтейта (10). Приведём интерпретацию математических выражений участвующих в расчёте параметров эвапотранспирации.

### *Насыщенное парциальное давление водяного пара (es)*

Формула для расчёта насыщенного парциального давления водяного пара (es) выглядит следующим образом:

$$es = 6,11 \times 10^{\left( \frac{7,5 \times T}{T + 237,3} \right)}$$

где:

es - насыщенное парциальное давление водяного пара, выраженное в гПа,

T - температура воздуха в °С.

Это уравнение описывает максимальное давление, при котором водяной пар может находиться в воздухе при данной температуре без конденсации. Чем выше температура, тем больше воды может удерживать воздух в форме пара. Например, при повышении температуры показатель давления ( $e_s$ ) увеличивается, что объясняет большую влажность тёплого воздуха.

$$e_s = 6,11 \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T}{T + 237,3}\right)}$$

#### ***Фактическое парциальное давление водяного пара в воздухе ( $e_a$ )***

Фактическое парциальное давление водяного пара, или влажность воздуха ( $e_a$ ), рассчитывается по формуле:

$$e_a = e_s \times \frac{RH}{100}$$

где:

$e_a$  - фактическое давление водяного пара в воздухе (гПа),

RH - относительная влажность воздуха в процентах (%),

$e_s$  - насыщенное парциальное давление водяного пара.

Эта формула показывает, какое количество водяного пара действительно присутствует в воздухе при текущих условиях влажности. Значение ( $e_a$ ) всегда меньше или равно ( $e_s$ ), поскольку относительная влажность обычно составляет менее 100%. Этот показатель особенно важен в агрометеорологии, поскольку он влияет на скорость испарения воды с поверхности растений.

#### ***Угол наклона кривой насыщенного давления водяного пара ( $\Delta$ )***

Угол наклона кривой насыщенного давления водяного пара ( $\Delta$ ) рассчитывается так:

$$\Delta = \frac{4098 \times e_s}{(T + 237,3)^2}$$

где:

$\Delta$  - угол наклона, измеряемый в гПа/°С,

$e_s$  - насыщенное парциальное давление водяного пара (гПа),

$T$  - температура воздуха (°С).

Этот показатель ( $\Delta$ ) показывает, как меняется насыщенное давление водяного пара с изменением температуры. Он используется в моделях эвапотранспирации, так как позволяет определить чувствительность испарения к температуре, что особенно важно в сухом климате, где температура сильно влияет на водопотребление растений.

### ***Психрометрическая константа ( $\gamma$ )***

Психрометрическая константа рассчитывается по формуле:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P$$

где:

$\gamma$  - психрометрическая константа, измеряемая в гПа/°С,

$P$  - атмосферное давление в кПа, обычно принимается равным стандартному значению 101,3 кПа.

Психрометрическая константа показывает связь между температурой и влажностью воздуха. Она описывает скорость охлаждения влажного воздуха при испарении и конденсации и применяется в уравнении Монтейта-Пенмана для расчёта эвапотранспирации.

### **2. Психрометрическая константа ( $\Upsilon$ )**

Формула для расчёта психрометрической константы:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P$$

где:

$P = 101,3$  кПа - стандартное атмосферное давление.

### ***Расчётная суммарная радиация на поверхности посева ( $R_n$ )***

$R_n$ , выраженная в мегаджоулях на квадратный метр в день (МДж·м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>), используется для оценки энергии, доступной растениям для фотосинтеза и испарения. Этот показатель включает как прямую солнечную радиацию, так и длинноволновое излучение.

Формула расчёта суммарной радиации на поверхности посева ( $R$ )  
Расчёт можно выполнить по следующей формуле:

$$R_n = (1 - a) \times R_s - R_{nl}$$

где:

$R_n$  - суммарная радиация на поверхности посева, МДж. · м<sup>-2</sup> · д<sup>-1</sup>,

$a$  - альbedo поверхности (коэффициент отражения, для сельскохозяйственных культур обычно принимается равным 0,23),

$R_s$  - солнечная радиация (приходящая коротковолновая радиация),  
МДж. · м<sup>-2</sup> · д<sup>-1</sup>,

$R_{nl}$  - чистая длинноволновая радиация, МДж. · м<sup>-2</sup> · д<sup>-1</sup>,

Подробности расчёта компонентов

1. Солнечная радиация ( $R_s$ ): Этот показатель можно определить на основе данных солнечного излучения или по формуле:

$$R_s = (0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z) \times R_a$$

где:

$z$  - высота над уровнем моря (м),

$R_a$  - внеземная радиация, которую можно рассчитать на основе широты местности и дня года.

2. Чистая длинноволновая радиация ( $R_{nl}$ ):

Обычно рассчитывается по формуле:

$$R_{nl} = \sigma \times \frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \times (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \times (1,35 \frac{R_s}{R_{sa}} - 0,35)$$

где:

$\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана ( $4,903 \times 10^{-9}$  МДж. · К<sup>-4</sup> · м<sup>2</sup> · д<sup>-1</sup>),

$T_{max}$  и  $T_{min}$  - максимальная и минимальная температуры воздуха за сутки (°C),

$e_a$  - фактическое давление водяного пара (гПа),

$R_{sa}$  - расчётная солнечная радиация для ясного неба, также определяется по географическим и климатическим данным.





### ***Тепловой поток на поверхности почвы (G)***

Это количество тепловой энергии, которая передаётся из атмосферы в почву или обратно, в зависимости от времени суток и температуры поверхности (в  $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{д}^{-1}$ ). Тепловой поток играет важную роль в энергетическом балансе почвы, так как влияет на температуру корневой зоны и, следовательно, на процессы роста и развития растений.

### ***Расчёт теплового потока на поверхности почвы (G)***

Значение G зависит от времени суток и года, а также от облачности, типа поверхности и влажности почвы. Для упрощённых расчётов используют эмпирические соотношения, которые позволяют оценить тепловой поток с учётом поступающей солнечной радиации.

#### ***Основные формулы для расчёта G***

1. Для дневного периода (в условиях сильного солнечного нагрева поверхности):

$$G = 0,1 \times R_n$$

2. Для ночного периода (когда тепло теряется с поверхности):

$$G = 0,5 \times R_n$$

где:

$R_n$  - чистая радиация на поверхности почвы ( $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{д}^{-1}$ ).

Эти коэффициенты основаны на том, что примерно 10% дневной радиации поглощается почвой, тогда как ночью потери тепла составляют около 50% от радиационного баланса.

3. Для суточных расчётов (приблизённо):

При расчёте на уровне суток значение G может быть настолько малым, что его можно принять равным нулю или учитывать как незначительный компонент в общем радиационном балансе.

Если чистая радиация на поверхности почвы ( $R_n$ ) равна 20  $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{д}^{-1}$ , то тепловой поток G для дневного периода составит:

$$G = 0,1 \times 20 = 2,0 \text{ МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{д}^{-1}$$

Таким образом, тепловой поток на поверхности почвы учитывается для более точного определения энергии, доступной для процессов испарения и транспирации.

Основные климатические характеристики в течение трех лет выращивания люцерны (2020-2022 гг.) приведены в приложениях А.1, А.2, А.3. Расчёт суммарного испарения с использованием модели Пенмана-Монтейта проводился в соответствии с методологией, рекомендованной ФАО (1998), на электронном калькуляторе, интерфейс которого показан на рисунке 7.6. Основные климатические характеристики в период трёх лет выращивания люцерны (2020-2022 гг.) приведены в Приложение А.1 А.2, А.3.



Рисунок 7.6. Методические указания и интерфейс электронного калькулятора «ETo calculator» для расчёта эвапотранспирации

На рисунке 7.7 показана разница в значениях эвапотранспирации по двум климатическим зонам Сирии, требующим разное количество поливной воды для выращивания единицы продукции.

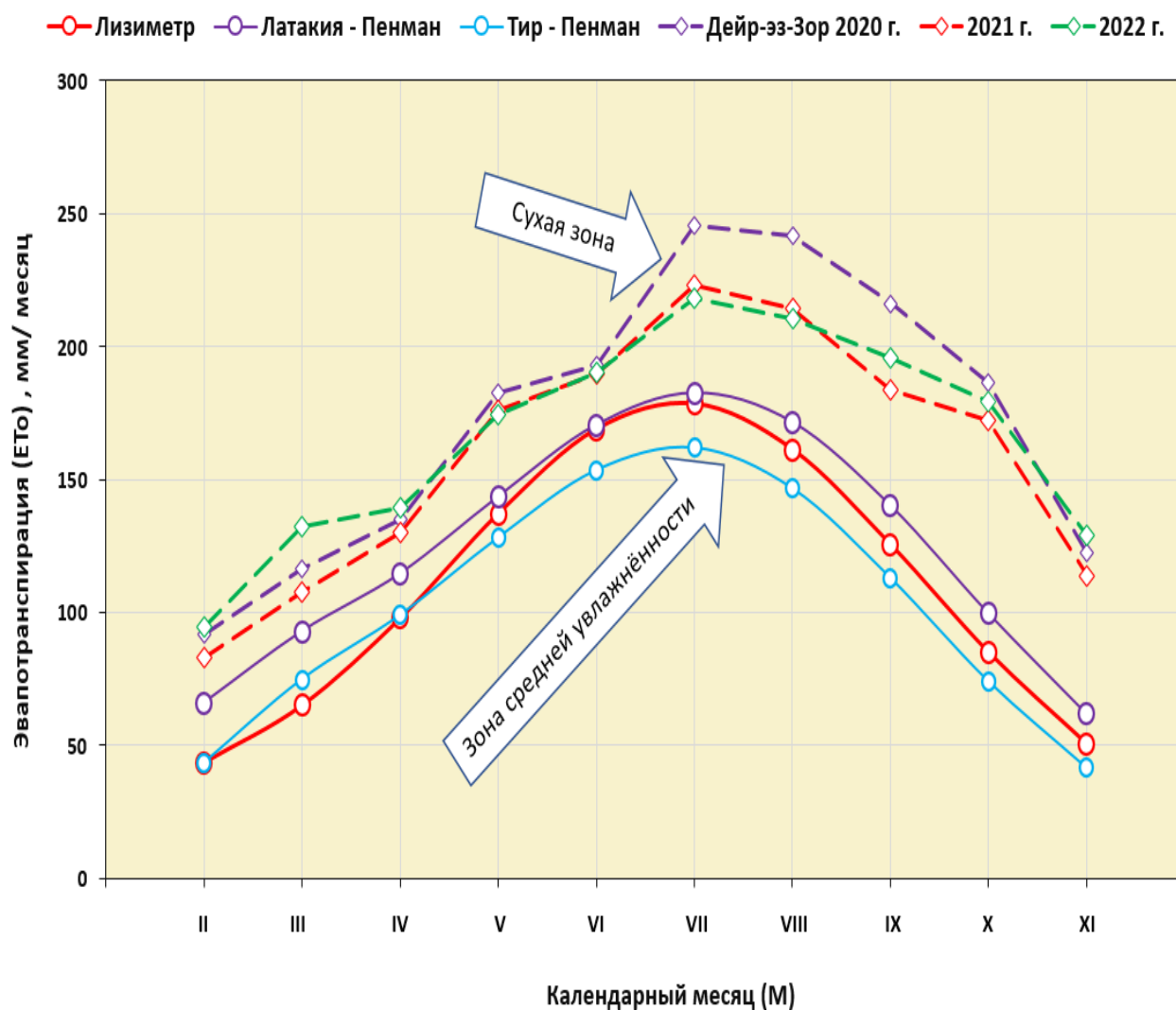


Рисунок 7.7. Различия значений эвапотранспирации по месяцам между разными климатическими зонами Сирии

Испарение с поверхности почвы наиболее интенсивно происходит в начальных стадиях вегетации, когда растительный покров ещё не обладает достаточной массой, чтобы затенять грунт. С увеличением биомассы и развитием побегов у растений, постепенно создаётся тень, снижающая интенсивность испарения с поверхности почвы, сводя его со временем к

минимуму. Оба этих процесса – испарение и транспирация – понижают температуру испаряющей поверхности, что, в зависимости от климатических условий, может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на рост и развитие растений.

Опираясь на рассчитанные значения эвапотранспирации по месяцам для каждого из трёх лет исследования, были получены объёмы потребности люцерны в воде по стадиям роста растений, что является первоосновой для расчёта водного баланса при выращивании люцерны (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Расчёт потребности люцерны в воде ( $ET_c$ ) по стадиям роста и годам выращивания через базовую эвапотранспирацию ( $ET_0$ ) для сухой зоны (Дейр-эз-Зор)

Год выращивания	Стадия роста	Базовый коэффициент урожайности $K_c$	Базовая эвапотранспирация для контроля $ET_0$ ( $m^3/га$ )	Потребность люцерны в воде $ET_c = ET_0 \times K_c$ ( $m^3/га$ )
Первый, 2020 год	Проростки	0,40	18783,0	7513,2
	Активный рост	0,95		17843,9
	Цветение	0,90		16904,7
Второй, 2021 год	Проростки	0,40	17635,2	7054,08
	Активный рост	0,95		16753,4
	Цветение	0,90		15871,7
Третий, 2022 год	Проростки	0,40	19532,5	7813,0
	Активный рост	0,95		18555,9
	Цветение	0,90		17579,3

Водопотребление сельскохозяйственных культур является ключевым фактором при планировании режима орошения, так как для достижения высокой эффективности полива необходимо учитывать агроклиматические, биологические особенности культуры, а также условия её роста и развития. Важными становятся также агротехнические параметры и водный режим

почвы, влияющие на её солевой, питательный, воздушный и температурный баланс. Оптимальный режим орошения предусматривает разработку подходящих для конкретной культуры норм полива, количество и сроки его проведения. Каждой культуре необходимо обеспечить такой уровень влажности в корнеобитаемом слое почвы, при котором водно-воздушный режим будет полностью отвечать потребностям растения.

Режим орошения и водопотребление одной и той же культуры могут значительно варьировать по годам, в зависимости от погодных условий. Согласно данным А.Н. Костякова, с ростом растений глубина активного корнеобитаемого слоя увеличивается, достигая своего максимума на определённых стадиях развития: например, для хлопчатника в фазе цветения она составляет 0,80–0,90 м, для многолетних трав после укоса – 0,60–0,70 м, для сахарной свёклы в фазе формирования корнеплодов – 0,60–0,70 м, для овощных культур и картофеля – 0,40–0,50 м, а для садов и виноградников – около 0,80 м. Эти параметры активно используются в Сирии при расчёте поливных норм.

Оптимальная влажность почвы, являясь основой её водно-воздушного режима, также подлежит строгой регламентации для различных культур и фаз их роста. Различные культуры предъявляют особые требования к содержанию влаги в почве, выражаемому в процентах от полной влагоёмкости. Так, В.Р. Вильямс предлагает следующие оптимальные уровни влажности для разных групп культур в фазе активной вегетации: зерновые – 40–50%, зернобобовые – 50–60%, технические культуры и корнеплоды – 60–70%, многолетние травы (злаковые и бобовые) – 70–80%. Соблюдение этих параметров позволяет эффективно управлять водными ресурсами, обеспечивая необходимый уровень продуктивности. Для расчёта поливных норм следует опираться на водно-физические свойства почв региона исследований, представленных в таблице 8.3 (Аль Кандж Асаада, 1974).



Таблица 7.5. Водно-физические свойства почв в долине р. Евфрата (по данным Аль Кандж Асаада, 1974)

Водно-физическая характеристика	Почвы					
	Светло-бурые мощные	Светло-бурые среднемошнне	Светло-бурые маломощные	Лугово-светло-бурые	Орошаемые луговые	Солончаки
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	2,73	2,73	2,55	2,71	2,73	2,53
Объёмный вес, г/см <sup>3</sup> (от-до)	1,20-1,60	1,20-1,47	1,20-1,56	1,18-1,79	1,20-1,72	1,22-1,58
Общая порозность (0-1 м)	46	49	48	44	46	48
Аэрация почв в состоянии полевой влагоёмкости, % 14	14	17	7	10	9	9
Полевая влагоёмкость, м <sup>3</sup> /га	3140	3180	2300	3395	3560	3000
Допустимый предел иссушения почв, м <sup>3</sup> /га	2200	2225	7600	2375	2480	2100
Рациональная поливная норма 0-50 см	-	500	400	-	-	320
Норма в м <sup>3</sup> /га для смачивания слоя 0-100 см	940	950	750	1020	1050	900
Расход воды за первый час. Полива, м <sup>3</sup> /га	330	320	150	520	370	240
Расход воды за первые 5 часов полива, м <sup>3</sup> /га	650	450	240	800	540	800
КФ, практическая постоянная скорость впитывания воды, м/сутки	0,13	0,04	0,06	0,13	0,08	0,35
Время установления постоянной скорости впитывания воды от начала полива в часах	4	3	4,5	3	4	1

*Примечание: Поливные нормы, расход воды, скорость впитывания определены по данным второго полива, проведённого на 5-7 день после первого полива.*



На расчёт водопотребления существенным образом влияет число укосов люцерны. Так, информация о календарных сроках проведения укосов по трём годам выращивания культуры в условиях аридного климата Сирии была приведена выше (таблица 7.4). Число укосов в первый год (2020 г.) составляло 5, во второй (2021 г.) - 7, в третий (2022 г.) - 8 укосов в отличие от 3 - 4 укосов в Российских регионах.

Все перечисленные особенности выращивания люцерны легли в основу расчёта водного баланса и моделирования оптимального режима орошения культуры для лучшего варианта опыта, включающего применение в качестве биомелиоранта **Компост** из люцерны в сочетании с **Биопрепаратом** на основе бактерий типа *Bacillus*.

### 2.3. Регулирование водного баланса и режима орошения

Для специалистов-аграриев, работающих в условиях аридного климата, таких как провинция Дейр-эз-Зор в Сирии, глубокое понимание биологии люцерны и технологий её выращивания является основой устойчивого ведения сельского хозяйства. Однако выращивание этой культуры в засушливых условиях требует особого внимания к деталям, поскольку водные ресурсы ограничены, а климатические условия экстремальны. В условиях Сирии, где большая часть сельскохозяйственных угодий подвержена воздействию высоких температур, низкой влажности и нерегулярным осадкам, знание физиологических особенностей люцерны позволяет аграриям максимально эффективно использовать ресурсы. Понимание таких факторов, как фазы роста, потребности в воде на разных стадиях развития, глубина корневой системы и реакция на водный стресс, помогает разработать оптимальные режимы орошения, которые могут обеспечить не только выживаемость, но и высокую продуктивность культуры.

В провинции Дейр-эз-Зор, которая характеризуется длительными сухими периодами и высокой эвапотранспирацией, правильный режим орошения становится основополагающим аспектом технологии возделывания люцерны. Без рационального управления водными ресурсами существует риск быстрого истощения почвенной влаги, накопления солей и снижения урожайности. Поэтому разработка и внедрение дифференцированных поливных норм, учитывающих конкретные потребности растений в каждом вегетационном периоде является необходимым условием для обеспечения устойчивости агроэкосистем.

Оптимизация водопользования при выращивании люцерны в условиях сухой зоны требует комплексного подхода, включающего учёт фаз её вегетации, минимизацию испарения влаги, и поддержание водно-воздушного режима почвы. Такой подход позволяет создать условия, при которых культура может максимально использовать ограниченные водные ресурсы для устойчивого роста и продуктивности. Для специалистов, обладающих знаниями в области биологии люцерны, агротехнических приёмов и современных методов орошения, такая система управления водопотреблением становится ключевым инструментом для повышения эффективности поливного режима и, соответственно, увеличения урожайности культуры.

### ***Постановка задачи***

Целью исследования являлась разработка оптимального режима орошения для люцерны с учётом её фазового развития и динамики роста в условиях аридного климата провинции Дейр-эз-Зор. С этой целью была проведена закладка опыта с посевом культуры 20 февраля 2020 года. Норма высева составила 12 - 14 млн. всхожих семян на гектар (что соответствует 24–28 кг/га по физическому весу), что было рассчитано с учётом посевной годности семян. Глубина посева составляла 1,5 - 2,0 см, а способ посева был рядовым (с междурядьем 15 см).

Вегетационный период культуры начался с полных всходов, которые были отмечены в конце первой декады марта (8 - 9 марта) при дневных температурах от 16 до 19 °С и средней температуре 12,5 °С за период от посева до всходов. Эти условия создали благоприятные предпосылки для дальнейшего роста люцерны, и уже 10 мая был проведён первый укос на стадии бутонизации растений. Накопление активных температур с момента всходов до начала бутонизации составило 1507 °С, что определило оптимальные сроки укоса для достижения наибольшей продуктивности культуры.

### *Интерпретация результатов*

Детальный анализ режимов орошения, представленный в таблицах 7.6, 7.7 и 7.8 иллюстрирует, как адаптация поливного режима к условиям каждого года позволяет максимально эффективно использовать доступные водные ресурсы. В условиях провинции Дейр-эз-Зор была изучена необходимость увеличения поливных норм в период активного роста люцерны, что поддерживало её водный баланс и обеспечивало эффективное водопотребление. Различия в режимах орошения между первым, вторым и третьим годами выращивания позволяют выявить оптимальные нормы и периодичность поливов, исходя из изменений климата, уровня влажности почвы и солевого состава.

Таким образом, проведённое исследование демонстрирует необходимость индивидуального подхода к поливу люцерны на каждом этапе её роста. Результаты показывают, что грамотно выстроенный режим орошения, основанный на анализе потребностей культуры в каждом году выращивания, позволяет обеспечить устойчивое развитие люцерны и высокий уровень её продуктивности в условиях засушливого климата (Табл. 7.6 – Табл. 7.8).

Таблица 7.6. Режим орошения люцерны первого года выращивания, 2020 г.

№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
<b><i>Первый укос</i></b>					
1-й полив	16.03	первый тройчатый лист	1200	0-1,0	-
2-й полив	15.04	4–6 настоящих листьев	800	0-1,0	30
I укос	10.05	бутонизация			
Итого			2000		
<b><i>Второй укос</i></b>					
1-й полив	11.05	после 1-го укоса	800	0-1,0	26
2-й полив	14.06	начало бутонизации	1000	0-1,0	34
3-й полив	08.07	бутонизация	1200	0-1,0	24
II укос	20.07	начало цветения			
Итого			3000		
<b><i>Третий укос</i></b>					
1-й полив	21.07	после 2-го укоса	1200	0-1,0	13
2-й полив	08.08	ветвление	1350	0-1,0	18
3-й полив	22.08	начало бутонизации	1350	0-1,0	14
III укос	09.09	начало цветения			
Итого			3900		
<b><i>Четвёртый укос</i></b>					
1-й полив	10.09	после 3-го укоса	1350	0-1,0	19
2-й полив	14.10	ветвление	800	0-1,0	34
IV укос	10.11	бутонизация-начало цветения			
Итого			2150		
<b><i>Пятый укос</i></b>					

№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
1-й полив	11.11	после 4-го укоса	1200	0-1,0	26
V укос	29.12	бутонизация			
Итого			1200		

***Режим орошения первого года выращивания (2020 год)***

***Первый укос***

Поливы проводятся на фазах первого тройчатого листа (16 марта) и при появлении 4 - 6 настоящих листьев (15 апреля). Норма полива составляет 1200 м<sup>3</sup>/га и 800 м<sup>3</sup>/га соответственно, промачиваемый слой почвы от 0 до 1,0 м. Межполивной период продолжается 30 дней, общее водопотребление составляет 2000 м<sup>3</sup>/га.

***Второй укос***

Поливы выполняются после первого укоса (11 мая), на стадии бутонизации (14 июня) и начала цветения (8 июля). Нормы полива варьируются от 800 м<sup>3</sup>/га до 1200 м<sup>3</sup>/га, промачиваемый слой составляет от 0 до 1,0 м. Межполивные периоды - от 24 до 34 дней, общее водопотребление - 3000 м<sup>3</sup>/га.

***Третий укос***

Поливы проводятся после второго укоса (21 июля), в фазах ветвления (8 августа) и бутонизации (22 августа). Поливные нормы увеличены до 1200 - 1350 м<sup>3</sup>/га, промачиваемый слой сохраняется на уровне 0 -1,0 м. Общее водопотребление - 3900 м<sup>3</sup>/га, межполивные периоды - 13–18 дней.

***Четвёртый и пятый укосы***

Поливы выполняются в сентябре и октябре после укосов и в фазах ветвления.

Нормы полива варьируются от 800 до 1350 м<sup>3</sup>/га, суммарное водопотребление для обоих укосов - 3350 м<sup>3</sup>/га. Межполивные периоды составляют 19–34 дня.

Таблица 7.7. Режим орошения люцерны второго года выращивания, 2021 гг.

№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
<b><i>Первый укос</i></b>					
1-й полив	01.03	ветвление	1000	0-1,0	-
I укос	15.03	бутонизация	-	-	-
Итого			1000		
<b><i>Второй укос</i></b>					
1-й полив	16.03	после 1-го укоса	1000	0-1,0	-
2-й полив	14.04	начало бутонизации	1000	0-1,0	29
II укос	02.05	начало цветения	-	-	-
Итого			2000		
<b><i>Третий укос</i></b>					
1-й полив	03.05	после 2-го укоса	1200	0-1,0	19
2-й полив	15.05	ветвление	1200	0-1,0	12
3-й полив	04.06	начало бутонизации	1350	0-1,0	20
III укос	17.06	бутонизация- начало цветения			
Итого			3750		
<b><i>Четвёртый укос</i></b>					
1-й полив	18.06	после 3-го укоса	1350	0-1,0	16
2-й полив	30.06	ветвление	1000	0-1,0	12
3-й полив	12.07	начало бутонизации	1000	0-1,0	13
4-й полив	20.07	бутонизация- начало цветения	1000	0-1,0	9
IV укос	01.08	цветение			
Итого			4350		
<b><i>Пятый укос</i></b>					
1-й полив	02.08	после 4-го укоса	1350	0-1,0	13

№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
2-й полив	14.08	ветвление	1200	0-1,0	12
3-й полив	28.08	начало бутонизации	1200	0-1,0	11
V укос	19.09	бутонизация-начало цветения			
Итого			3750		
<b><i>Шестой укос</i></b>					
1-й полив	20.09	после 5-го укоса	1200	0-1,0	23
2-й полив	12.10	начало бутонизации	1000	0-1,0	22
VI укос	03.11	бутонизация-начало цветения			
Итого			2200		
<b><i>Седьмой укос</i></b>					
1-й полив	04.11	после 6-го укоса	1200	0-1,0	22
VII укос	27.12	бутонизация			

***Режим орошения второго года выращивания (2021 год)***

***Первый укос***

Полив на стадии ветвления 1 марта с нормой 1000 м<sup>3</sup>/га, промачиваемый слой на глубину 0 - 1,0 м. Последующий укос - 15 марта на стадии бутонизации. Общее водопотребление - 1000 м<sup>3</sup>/га.

***Второй укос***

Поливы после первого укоса и на стадии бутонизации (16 марта и 14 апреля) с нормами 1000 м<sup>3</sup>/га. Промачиваемый слой сохраняется на уровне 0 - 1,0 м, межполивной период составляет 29 дней. Общее водопотребление - 2000 м<sup>3</sup>/га.

***Третий укос***

Поливы на стадиях ветвления и бутонизации (3 мая, 15 мая, 4 июня). Нормы полива увеличены до 1200-1350 м<sup>3</sup>/га, межполивные периоды составляют 12 - 20 дней, что позволяет поддерживать интенсивный рост. Общее водопотребление - 3750 м<sup>3</sup>/га.

### ***Четвёртый укос и последующие***

Четвёртый укос с четырьмя поливами (нормы 1000–1350 м<sup>3</sup>/га) обеспечивает водопотребление 4350 м<sup>3</sup>/га. Пятый, шестой и седьмой укосы поддерживают поливные нормы в диапазоне 1000–1350 м<sup>3</sup>/га на стадиях ветвления и цветения, с межполивными периодами от 8 до 27 дней.

Таблица 7.8. Режим орошения люцерны третьего года выращивания, 2022 г.

№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
<b><i>Первый укос</i></b>					
1-й полив	31.01	ветвление	800		-
I укос	10.02	бутонизация			
Итого			800		
<b><i>Второй укос</i></b>					
1-й полив	11.02	после 1-го укоса	800	0-1,0	12
II укос	28.03	начало цветения			
Итого			800		
<b><i>Третий укос</i></b>					
1-й полив	30.03	после 2-го укоса	800	0-1,0	18
2-й полив	14.04	ветвление	1200	0-1,0	14
3-й полив	28.04	начало бутонизации	1350	0-1,0	14
III укос	12.05	бутонизация- начало цветения			
Итого			3350		
<b><i>Четвёртый укос</i></b>					
1-й полив	13.05	после 3-го укоса	1000	0-1,0	16
2-й полив	24.05	ветвление	800	0-1,0	11
3-й полив	12.06	начало бутонизации	800	0-1,0	18
4-й полив	20.06	бутонизация- начало цветения	800	0-1,0	9
IV укос	26.06	цветение			
Итого			3400		



№ полива и укоса	Дата полива	Фаза вегетации растений	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Промачиваемый слой почвы, м	Межполивной период, дни
<b><i>Пятый укос</i></b>					
1-й полив	27.06	после 4-го укоса	1200	0-1,0	8
2-й полив	12.07	ветвление	1200	0-1,0	15
3-й полив	29.07	начало бутонизации	1200	0-1,0	17
V укос	10.08	бутонизация-начало цветения			
Итого			3600		
<b><i>Шестой укос</i></b>					
1-й полив	11.08	после 5-го укоса	1200	0-1,0	14
2-й полив	08.09	начало бутонизации	1200	0-1,0	27
VI укос	24.09	цветения			
Итого			2200		
<b><i>Седьмой укос</i></b>					
1-й полив	25.09	после 6-го укоса	1200	0-1,0	17
VII укос	08.11	бутонизация			
Итого			1200		
<b><i>Восьмой укос</i></b>					
VIII укос	23.12	начало бутонизация			

***Режим орошения третьего года выращивания (2022 год)***

***Первый и второй укосы***

Поливы в январе, феврале и марте на фазах ветвления и начала цветения (800 м<sup>3</sup>/га). Промачиваемый слой был на глубину 0 - 1,0 м. Межполивные периоды для второго укоса насчитывали 18 дней.

***Третий укос***

Поливы в фазах ветвления и бутонизации (30 марта, 14 апреля, 28 апреля), нормы полива увеличены до 1200 - 1350 м<sup>3</sup>/га.

Промачиваемый слой - 0 - 1,0 м, межполивные периоды составляют 14 дней.  
Общее водопотребление составило 3350 м<sup>3</sup>/га.

### ***Четвёртый укос***

Поливы после укоса и на стадии ветвления (13 мая, 24 мая) проводились с нормой 800 -1000 м<sup>3</sup>/га. Общее водопотребление составило 3400 м<sup>3</sup>/га, межполивные периоды насчитывают от 9 до 18 дней.

### ***Пятый и последующие укосы***

Поливы с нормами 1200 м<sup>3</sup>/га в фазах бутонизации и начала цветения (12 июля, 29 июля) и на последующих стадиях развития. Общее водопотребление для пятого укоса - 3600 м<sup>3</sup>/га, для шестого - 2200 м<sup>3</sup>/га, что позволяет сохранить продуктивность культуры на высоком уровне, несмотря на сухой климат.

Анализ режима орошения люцерны в условиях провинции Дейр-эз-Зор показал, что поддержание высокой продуктивности требует корректировки поливных норм и межполивных периодов в зависимости от года выращивания и стадии развития культуры.

### ***Комплекс показателей водного баланса и продуктивности***

На основе данных таблицы 8.9 представлена оценка эффективности применения комбинированного внесения биомелиорантов — компоста из люцерны и биопрепарата с бактериями рода *Bacillus*. Эти показатели раскрывают вклад данной технологии в повышение продуктивности культуры и рациональность использования водных ресурсов в условиях аридного климата.

### ***Суммарное водопотребление***

Водопотребление - ключевой показатель, отражающий общую потребность люцерны в воде, включающую затраты на поддержание жизнедеятельности растений, испарение с почвы и транспирацию через листовую аппарат. В условиях пустынной зоны Сирии суммарное водопотребление люцерны по годам составляет:

Первый год (2020 г.) - 13227 м<sup>3</sup>/га;

Второй год (2021 г.) - 19282 м<sup>3</sup>/га;

Третий год (2022 г.) - 16714 м<sup>3</sup>/га.

Рост показателя на второй год связан с увеличением биомассы растений и, следовательно, повышением транспирации, тогда как в первый и третий годы водопотребление несколько ниже благодаря адаптации культуры к условиям среды и оптимизации орошения.

### ***Урожайность сена люцерны***

Применение компоста и биопрепарата на основе *Bacillus* позволило значительно повысить урожайность сена. По годам выращивания продуктивность показана суммарными значениями и по укосам:

Первый год - 9,2 т/га и по укосам: 2,6; 2,5; 2,1; 1,4; 0,6 (т/га);

Второй год - 9,9 т/га и по укосам: 2,5; 2,3; 1,9; 1,4; 1,0; 0,6; 0,2 (т/га);

Третий год - 9,4 т/га и по укосам: 2,4; 2,0; 1,6; 1,2; 0,9; 0,7; 0,4; 0,2 (т/га).

Наибольшая урожайность зафиксирована во второй год, когда люцерна активно нарастила биомассу. Биопрепарат способствует усилению корневой системы и лучшему поглощению воды и питательных веществ, что отражается на росте урожайности.

### ***Эффективность использования водных ресурсов***

Для оценки эффективности водопользования используются коэффициент водопотребления - объем воды, затраченный на формирование 1 тонны урожая, представленный по годам вегетации культуры:

Первый год - 1437 м<sup>3</sup>/т; Второй год - 1947 м<sup>3</sup>/т; Третий год - 1778 м<sup>3</sup>/т.

Снижение коэффициента водопотребления в первый год связано с меньшими требованиями культуры к воде в начальной фазе. Во второй и третий годы наблюдается некоторое увеличение показателя, что обусловлено более высокой транспирационной активностью растений в период интенсивного роста.

Таблица 7.9. Суммарное водопотребление, урожайность и эффективность использования водных ресурсов в сухой зоне Сирии

Показатели продуктивности и составляющие водного баланса	1-й укос	2-й укос	3-й укос	4-й укос	5-й укос	6-й укос	7-й укос	8-й укос	Всего
<b>Первый год вегетации (2020 г.)</b>									
Урожайность сена, т/га	2,6	2,5	2,1	1,4	0,6	-	-	-	9,2
Число поливов, шт.	2	3	3	2	1	-	-	-	11
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	2000	3000	3900	2150	1200	-	-	-	12250
Осадки, м <sup>3</sup> /га	320	70	0	110	230	-	-	-	730
Использовано из почвы (0–1,0 м), м <sup>3</sup> /га	115	78	23	14	17	-	-	-	247
Суммарное водопотребление, м <sup>3</sup> /га	2435	3148	3923	2274	1447	-	-	-	13227
Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	936	1259	1868	1624	2411	-	-	-	1437
Затраты оросительной воды, м <sup>3</sup> /т	769	1200	1857	1535	2000	-	-	-	1331
<b>Второй год вегетации (2021 г.)</b>									
Урожайность сена, т/га	2,5	2,3	1,9	1,4	1,0	0,6	0,2	-	9,9
Число поливов, шт.	1	2	3	4	3	2	1	-	16
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	1000	2000	3750	4350	3750	2200	1200	-	18250
Осадки, м <sup>3</sup> /га	390	170	70	0	0	80	250	-	960

Показатели продуктивности и составляющие водного баланса	1-й укос	2-й укос	3-й укос	4-й укос	5-й укос	6-й укос	7-й укос	8-й укос	Всего
Использовано из почвы (0–1,0 м), м <sup>3</sup> /га	24	11	6	2	0	12	17		72
Суммарное водопотребление, м <sup>3</sup> /га	1414	2181	3826	4352	3750	2292	1467	-	19282
Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	565	948	2013	3107	3750	3820	7335	-	1947
Затраты оросительной воды, м <sup>3</sup> /т	400	869	1973	3108	3750	3666	6000	-	1843
<b>Третий год вегетации (2022 г.)</b>									
Урожайность сена, т/га	2,4	2,0	1,6	1,2	0,9	0,7	0,4	0,2	9,4
Число поливов, шт.	1	1	3	4	3	2	1	0	15
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	800	800	3350	3400	3600	2200	1200	0	15350
Осадки, м <sup>3</sup> /га	230	350	120	60	0	0	90	280	1130
Использовано из почвы (0–1,0 м), м <sup>3</sup> /га	87	74	32	13	3	0	7	18	234
Суммарное водопотребление, м <sup>3</sup> /га	1117	1224	3502	3473	3603	2200	1297	298	16714
Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	465	612	2188	2894	4003	3142	3242	1490	1778
Затраты оросительной воды, м <sup>3</sup> /т	333	400	2093	2833	4000	3142	3000	-	1632

***Затраты оросительной воды на тонну урожая*** - объем поливной воды, необходимый для получения 1 тонны сена.

Первый год - 1331 м<sup>3</sup>/т;

Второй год - 1843 м<sup>3</sup>/т;

Третий год - 1632 м<sup>3</sup>/т.

Этот показатель позволяет оценить, насколько эффективно распределены ресурсы орошения, и подтверждает, что комбинированное внесение биомелиорантов помогает снизить водозатраты на единицу продукции, особенно в первый год, когда культура ещё адаптируется к условиям почвы и климата.

Таким образом, применение компоста на основе люцерны и бактериального биопрепарата *Bacillus* в условиях сухой зоны Сирии демонстрирует значительное увеличение урожайности при оптимизации водопотребления. Эти меры позволяют создать стабильный водный баланс и снизить затраты воды, обеспечивая высокий уровень продуктивности люцерны и эффективное использование доступных ресурсов.

### ***Структура суммарного водопотребления***

Для более детального понимания структуры водопотребления люцерны в условиях пустынной зоны Сирии, при применении оптимизированного режима орошения, была составлена таблица 7.10. В таблице иллюстрируется суммарное водопотребление культуры при уровне предполивной влажности почвы 65–70 % от наименьшей влагоёмкости (НВ), что соответствует рекомендуемым параметрам влажности для получения стабильной продуктивности. В таблице представлены закономерные изменения ключевых показателей водного баланса - объёма оросительной воды, осадков и использования почвенной влаги - в разрезе каждого укоса и по годам выращивания.

Таблица 7.10. Структура суммарного водопотребления при уровне предполивной влажности почвы (65–70 % НВ)

Год	Укосы	Оросительная норма		Осадки		Использовано из почвы (0...1,0 м)		Суммарное водопотребление, м <sup>3</sup> /га
		м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%	
2020	Первый	2000	14,3	320	43,8	115	46,6	2435
	Второй	3000	21,4	70	9,6	78	31,6	3148
	Третий	3900	27,9	0	0,0	23	9,3	3923
	Четвёртый	3900	27,9	110	15,1	14	5,7	4024
	Пятый	1200	8,6	230	31,5	17	6,9	1447
	<b>Всего</b>	<b>14000</b>	<b>100,0</b>	<b>730</b>	<b>100,0</b>	<b>247</b>	<b>100,0</b>	<b>14977</b>
2021	Первый	1000	5,5	390	40,6	24	33,3	1414
	Второй	2000	11,0	170	17,7	11	15,3	2181
	Третий	3750	20,5	70	7,3	6	8,3	3826
	Четвёртый	4350	23,8	0	0,0	2	2,8	4352
	Пятый	3750	20,5	0	0,0	0	0,0	3750
	Шестой	2200	12,1	80	8,3	12	16,7	2292
	Седьмой	1200	6,6	250	26,0	17	23,6	1467
	<b>Всего</b>	<b>18250</b>	<b>100,0</b>	<b>960</b>	<b>100,0</b>	<b>72</b>	<b>100,0</b>	<b>19282</b>
2022	Первый	800	5,2	230	20,4	87	37,2	1117
	Второй	800	5,2	350	31,0	74	31,6	1224
	Третий	3350	21,8	120	10,6	32	13,7	3502
	Четвёртый	3400	22,1	60	5,3	13	5,6	3473
	Пятый	3600	23,5	0	0,0	3	1,3	3603
	Шестой	2200	14,3	0	0,0	0	0,0	2200
	Седьмой	1200	7,8	90	8,0	7	3,0	1297
	Восьмой	0	0,0	280	24,8	18	7,7	298
	<b>Всего</b>	<b>15350</b>	<b>100,0</b>	<b>1130</b>	<b>100,0</b>	<b>234</b>	<b>100,0</b>	<b>16714</b>

Структура водопотребления люцерны по годам выращивания и укосам выглядит следующим образом:



### ***Оросительная норма, м<sup>3</sup>/га***

В колонке оросительной нормы отражено количество поливной воды, поданной на каждый укос в течение вегетационного сезона. В зависимости от возраста культуры и фазы развития потребности в воде закономерно изменяются:

Первый год (2020 г.) - максимальная оросительная норма 3900 м<sup>3</sup>/га приходится на третий и четвёртый укосы, когда растения наиболее активно растут и наращивают биомассу. Снижение нормы на пятый укос до 1200 м<sup>3</sup>/га связано с окончанием вегетационного сезона.

Второй год (2021 г.) - увеличенная оросительная норма, достигающая 4350 м<sup>3</sup>/га на четвёртый укос, обусловлена необходимостью поддержания высокой биомассы.

Третий год (2022 г.) - наблюдается снижение суммарной оросительной нормы (максимум 3600 м<sup>3</sup>/га), что связано с более развитой корневой системой, способной лучше удерживать воду, и снижением потребности в поливе.

### ***Осадки, м<sup>3</sup>/га***

Колонка осадков показывает природные влагозапасы, поступающие на поля люцерны. По данным таблицы, осадки распределяются по годам неравномерно, но играют значительную роль в водном балансе:

Первый год - максимальные осадки (320 м<sup>3</sup>/га) приходятся на первый укос, что снижает нагрузку на поливную систему.

Второй год - максимальные осадки (390 м<sup>3</sup>/га) отмечены на первом укосе, что способствует снижению поливных норм в ранний период вегетации.

Третий год - наибольший объём осадков (350 м<sup>3</sup>/га) также зафиксирован на втором укосе, позволяя сократить расходы поливной воды.

### ***Использовано влаги из почвы (0–1,0 м), м<sup>3</sup>/га***

Колонка использования почвенной влаги показывает, сколько воды растение потребляет непосредственно из почвы в пределах корнеобитаемого слоя. Эта величина отражает способность люцерны использовать запасы влаги, накопленные в почве:

Первый год - наибольшее использование почвенной влаги (115 м<sup>3</sup>/га) происходит на первом укосе, что связано с развитием корневой системы.

Второй год - максимальное значение (24 м<sup>3</sup>/га) наблюдается на первом укосе, что связано с запасами влаги, накопленными за осенне-зимний период.

Третий год - самый высокий показатель (87 м<sup>3</sup>/га) приходится на первый укос, что демонстрирует способность культуры эффективно использовать почвенную влагу в начальный период вегетации.

#### ***Суммарное водопотребление, м<sup>3</sup>/га***

Суммарное водопотребление по каждому укосу представляет собой сумму поливной воды, осадков и использованной почвенной влаги:

Первый год - наибольшая суммарная потребность (4024 м<sup>3</sup>/га) зафиксирована на четвёртом укосе, что объясняется интенсивным ростом биомассы.

Второй год - максимальный показатель суммарного водопотребления (4352 м<sup>3</sup>/га) приходится на четвёртый укос, отражая пик продуктивности.

Третий год - наиболее высокий объём водопотребления (3603 м<sup>3</sup>/га) приходится на пятый укос, что связано с периодом максимального накопления биомассы в условиях сухого сезона.

Таким образом, структура водопотребления люцерны по укосам и годам демонстрирует адаптацию культуры к условиям пустынного климата, а также эффективность комбинированного использования поливной воды, осадков и почвенной влаги.

## 2.4. Модели нормирования поливного режима

### *Постановка задачи*

Оптимизация водопотребления при выращивании люцерны в условиях аридного климата требует тщательного нормирования подачи поливной воды на каждом этапе вегетации. Особое внимание уделяется оценке динамики роста культуры и климатических факторов, влияющих на количество поливов между укосами. Для этого целесообразно использовать статистические модели, которые помогают предсказать общий объем водопотребления и необходимое число поливов в зависимости от года выращивания, климатических условий и фаз вегетации.

### *Статистические модели нормирования поливной воды*

Анализ данных о водопотреблении люцерны, представленных в таблицах 7.6 – 7.10, проводился путём построения регрессионных моделей для графической визуализации оптимальных оросительных норм и числа поливов в межукосный период. Полученные модели позволили отобразить изменение параметров следующие следующих показателей режима орошения:

- а) оросительной нормы (ON)**, отражающей общий объём поливной воды между укосами ( $\text{м}^3/\text{га}$ ).
- б) числа поливов (NP)**, обеспечивающих достаточное увлажнение почвы для поддержания продуктивности культуры между укосами.

Модель оросительной нормы представлена в виде уравнения:

$$ON = \exp(7,62702 - 0,73872X_1 - 0,95392X_2 - 1,76305 \ln Uk + 5,87003 \ln^2 Uk - 4,19299 \ln^3 Uk + 0,67497 \ln^4 Uk - 2,80607 \ln Uk X_2 + 0,70524 \ln^2 Uk X_1 + 4,27417 \ln^2 Uk X_2 - 1,07381 \ln^3 Uk X_2) \quad (14)$$

$$R^2=0,993; ES=\pm 7,3\%; F=107,4 \text{ при } P<0,05$$

$$t = | 119,5; 2,3; 5,9; 15,0; 6,8; 4,9; 9,8; 9,9; 2,6; 3,8; 3,5 | > t_{05}=1,96$$

где: переменные включают номер укоса ( $U_k$ ) и фиктивные переменные, кодирующие годы выращивания культуры ( $X_i$ ). Адекватность модели подтверждается коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,993$ ) и низкой среднеквадратической ошибкой уравнения ( $ES = \pm 7,3\%$ ), что свидетельствует о высокой точности прогнозирования поливных норм на каждом этапе вегетации. Оценка адекватности модели ON представлена на рисунке 7.8, а графическое представление изменения оросительной нормы на рисунке 7.9.

Распределение количества поливов между укосами ( $NP$ , ед.) описывается регрессией вида:

$$NP = \exp(0,69605 - 0,69524 X_1 - 0,69639 X_2 + 1,64771 \ln^2 U_k - 1,19073 \ln^3 U_k + \ln U_k(1,06037 X_1 - 5,57349 X_2) + \ln^2 U_k(-2,45730 X_1 + 10,81987 X_2) + \ln^3 U_k(2,67549 X_1 - 5,98097 X_2) + \ln^4 U_k(-0,69366 X_1 + 1,15054 X_2)) \quad (15)$$

$$R^2=0,999; ES=\pm 0,2\%; F=45126,7 \text{ при } P < 0,05$$

$$t = | 251,5; 171,0; 171,2; 188,8; 224,5; 23,5; 123,7; 23,1; 101,9; 33,5; 74,9; 36,2; 60,0 | > t_{05}=1,96$$

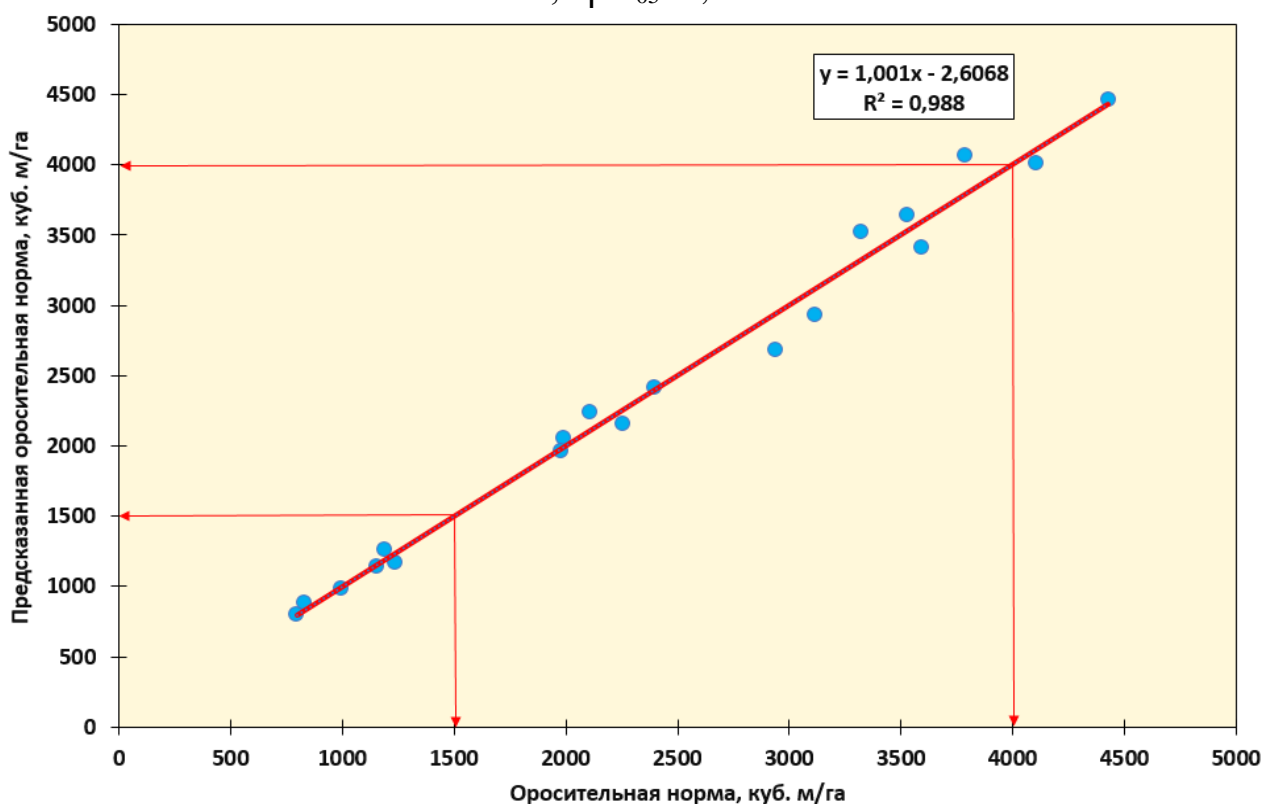


Рисунок 7.8. Квадрат оценки адекватности оптимальной оросительной нормы для выращивания люцерны

Полученная модель также показала высокую адекватность ( $R^2 = 0,999$ ) нормирования числа поливов на каждом этапе вегетации, исходя из календарных сроков и климата (Табл. 6.4). Регрессионная модель корректирует число поливов в зависимости от динамики роста и особенностей вегетационного периода каждого года.

■ 0-500 ■ 500-1000 ■ 1000-1500 ■ 1500-2000 ■ 2000-2500 ■ 2500-3000 ■ 3000-3500 ■ 3500-4000 ■ 4000-4500

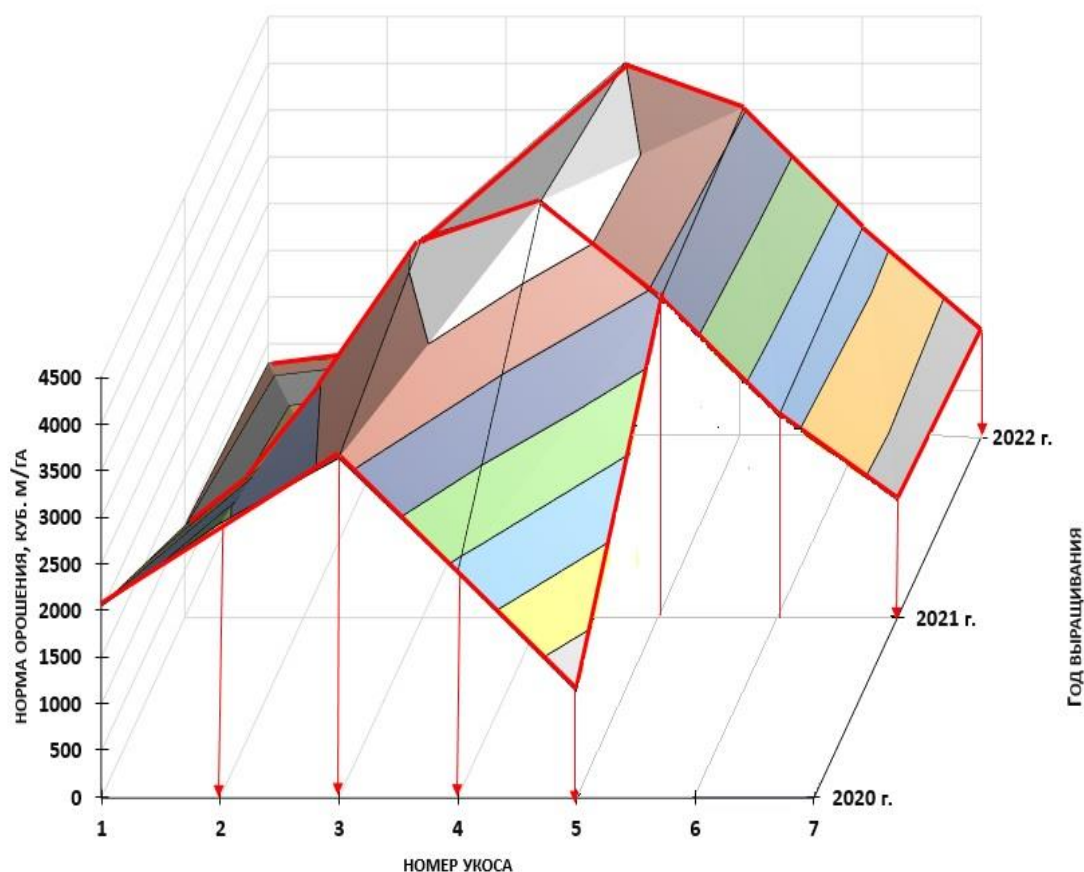


Рисунок 7.9. Поверхность регрессии распределения оросительной нормы (ON) по номерам укосов ( $U_k$ ) и трём годам выращивания люцерны

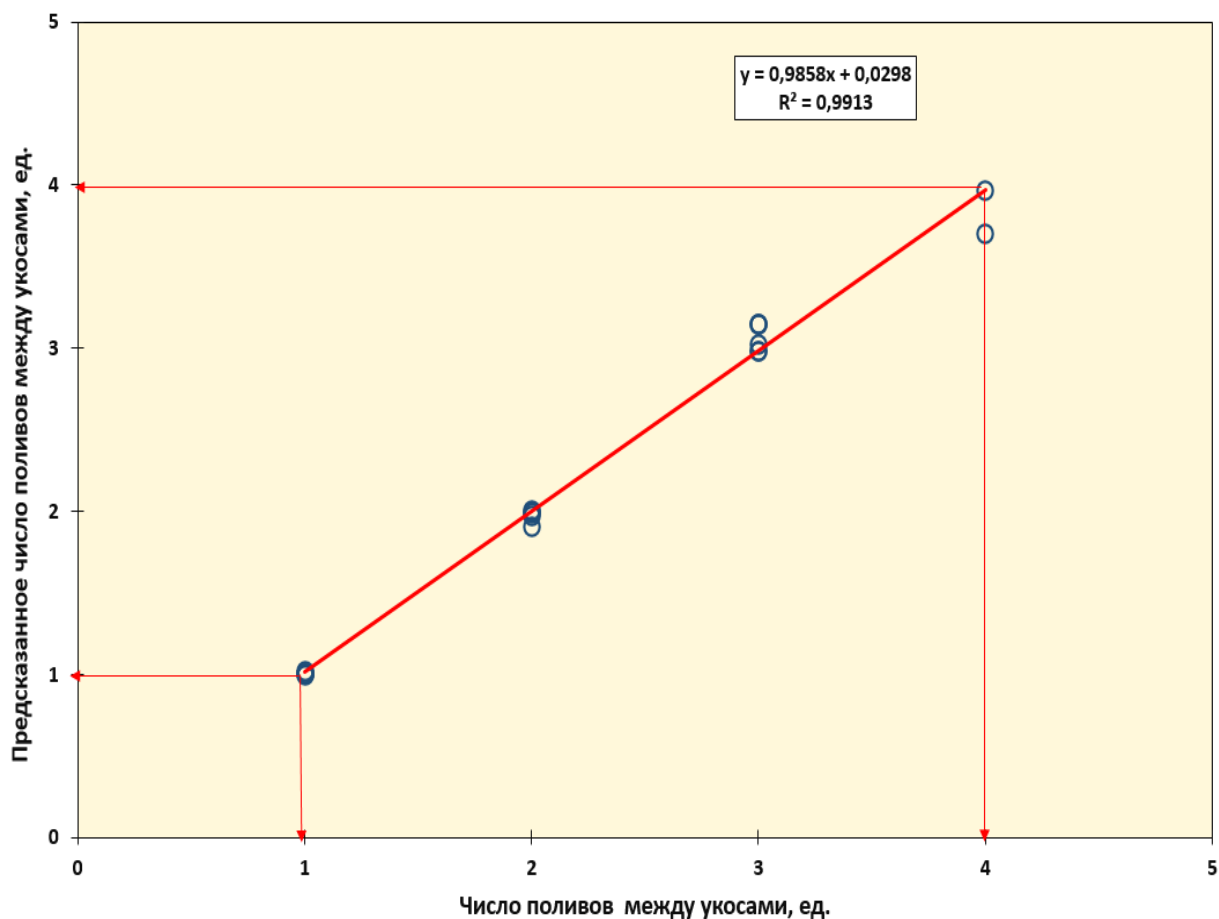


Рисунок 7.10. Квадрат оценки адекватности числа поливов между укосами при выращивании люцерны

Графическая интерпретация требуемого растениями количества поливов между укосами по годам выращивания культуры показана в виде поверхности регрессии (Рис. 7.11).

Особенности динамики поливного режима по сезонам и годам выращивания люцерны были строго увязаны с фенологическими фазами растений и календарными сроками, и климатическими показателями оцениваемого периода. Рассмотрим более подробно вопрос оптимизации водопотребления п сезонам года.

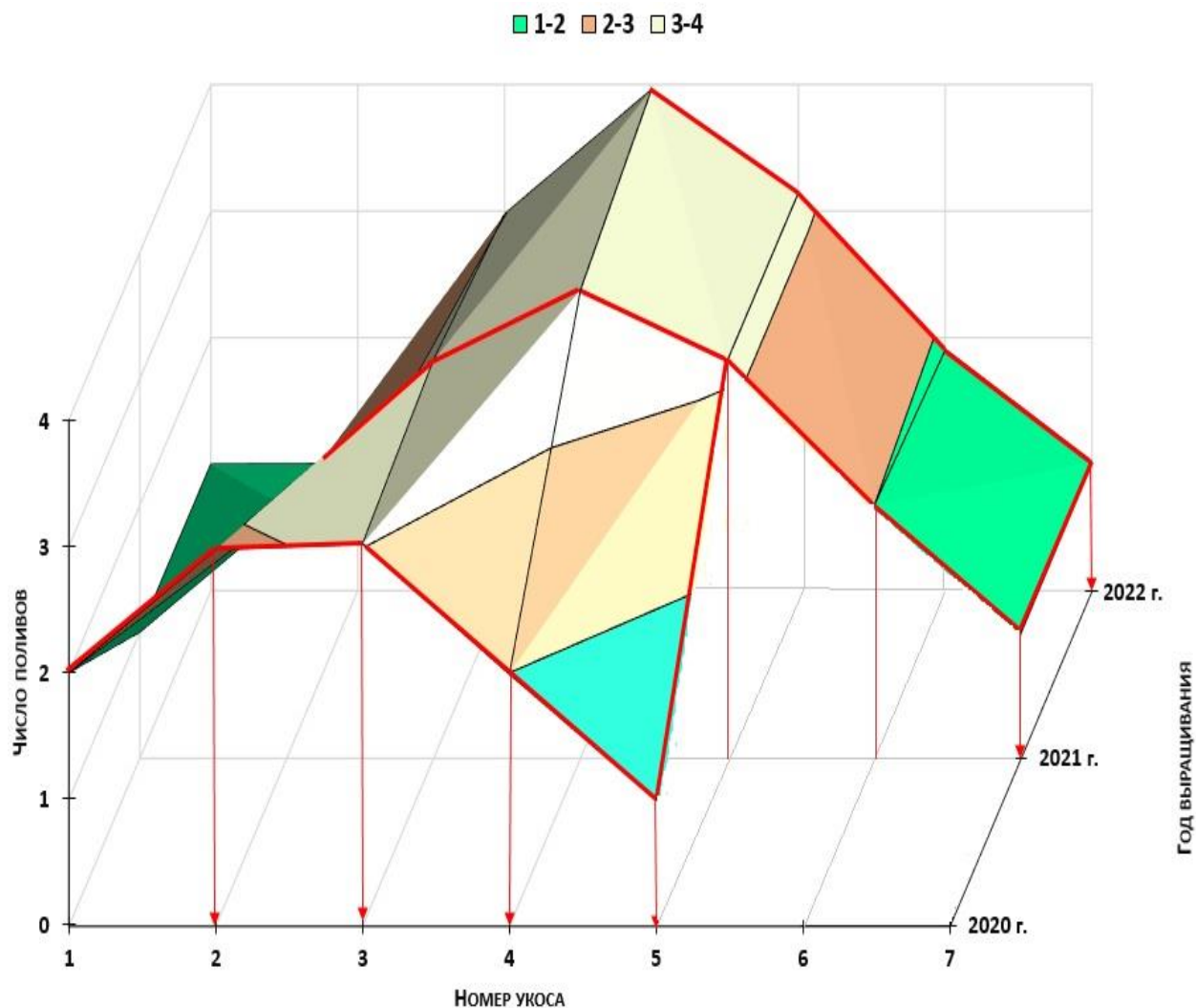


Рисунок 7.11. Поверхность регрессии динамики числа поливов (NP) по номерам укосов (Uк) и по трём годам выращивания люцерны

***Календарные сроки укосов и климатические особенности по сезонам года***

Оптимизация водопотребления люцерны требует учёта сезонных климатических изменений, которые влияют на календарные сроки укосов и потребность в воде.

1. В условиях мягкой сирийской зимы растения могут развиваться уже в феврале. Первая волна поливов проводится с учётом стабильно прохладных температур, что минимизирует испарение.

2. С началом весны температуры растут, что увеличивает потребность люцерны в воде. Сезонные поливы в марте-апреле поддерживают развитие растений до первого и второго укосов.

3. Летний сезон в Сирии характеризуется интенсивным испарением, что требует более частых поливов с увеличенными нормами. Укосы в июне-июле и последующие поливы обеспечивают постоянное увлажнение почвы для поддержания урожайности.

4. Осенний период с августа по ноябрь характеризуется более мягкими температурами, однако культура по-прежнему нуждается в регулярных поливах перед зимним снижением вегетационной активности.

Рассмотренные модели позволяют заключить, что оптимизация водопотребления люцерны требует дифференцированного подхода к нормированию поливов на каждом этапе вегетации. Данные таблиц 7.6 - 7.10 и статистические модели (14) и (15) показали, что:

1. Эффективность полива повышается за счёт динамического расчёта оросительных норм и числа поливов между укосами, что позволяет избежать потерь воды и поддерживать оптимальный водный баланс.

2. Сезонные колебания температуры требуют корректировки поливов: наиболее интенсивное орошение необходимо в летний сезон, тогда как в зимний период потребность в воде минимальна.

3. Прогнозирование поливных норм с помощью статистических моделей обеспечивает оптимальные условия для продуктивности люцерны и позволяет адаптировать водный баланс в зависимости от климатических изменений.

Таким образом, грамотное распределение поливной воды и применение статистических моделей дают возможность оптимально управлять водными ресурсами, достигая максимальной урожайности люцерны в аридных условиях Сирии.



## Выводы

1. В условиях аридного климата Сирии эффективность выращивания люцерны существенно зависит от поддержания оптимального водного баланса почвы. Разработанные режимы орошения позволяют минимизировать потери влаги и снизить риски засоления почвы. Наибольшая потребность в воде наблюдается в фазах активного роста растений (бутонизация и цветение), что требует увеличенных норм орошения в эти периоды.

2. В первый год выращивания люцерны (2020г.) среднее водопотребление составило 13227 м<sup>3</sup>/га, во второй год (2021 г.) - 19282 м<sup>3</sup>/га, а в третий год (2022г.) - 16714 м<sup>3</sup>/га. Увеличение водопотребления во второй год связано с наращиванием биомассы и более интенсивным транспирационным потоком.

3. Применение биомелиорантов позволяет снизить коэффициент водопотребления, обеспечивая максимальный уровень урожайности при минимальных затратах воды. Например, в первый год коэффициент водопотребления составил 1437 м<sup>3</sup>/т, во второй год - 1947 м<sup>3</sup>/т, а в третий год - 1778 м<sup>3</sup>/т.

4. Зимний и осенний периоды характеризуются минимальным водопотреблением, тогда как в летние месяцы требуется более частое и интенсивное орошение для поддержания водного баланса.

5. Построенные статистические модели для расчёта оросительных норм и количества поливов показали высокую адекватность ( $R^2 = 0,993$  для нормы полива и  $R^2 = 0,999$  для числа поливов). Это позволяет точно нормировать подачу воды на каждом этапе вегетации люцерны.

6. Разработанная модель оросительных норм позволяет учитывать климатические условия, номер укоса и фазу вегетации культуры, что обеспечивает рациональное использование воды. Модель числа поливов

предсказывает необходимое количество орошений между укосами, что даёт возможность избежать дефицита влаги или её избыточного поступления. Максимальные нормы полива приходятся на периоды интенсивного роста (июнь–август), а минимальные - на начало и конец сезона. Это соответствует сезонным изменениям температуры и влажности.

7. Прогнозирование поливных норм и числа поливов с помощью моделей позволяет адаптировать водный баланс к изменениям климата, что существенно повышает устойчивость агроэкосистем. Разработанные модели могут быть адаптированы для нормирования орошения других культур в аридных условиях, что делает их ценным инструментом для сельского хозяйства Сирии.

Приведённые выводы подчёркивают необходимость комплексного подхода к управлению водными ресурсами, который включает применение биомелиорантов, оптимизацию водного баланса и использование математических моделей. Это позволяет достигать устойчивой продуктивности люцерны и рационального использования воды в условиях ограниченных ресурсов.

### **7.5. Эффективность выращивания люцерны на засоленных почвах**

Выращивание люцерны в условиях аридного климата сталкивается с множеством агротехнических и экологических проблем, среди которых особенно выделяются засоление почв и ограниченные водные ресурсы. Разработка и внедрение методов мелиорации, включая использование органических удобрений и биопрепаратов, играют ключевую роль в повышении урожайности и поддержании плодородия почвы.

В ходе исследований на засоленных почвах провинции Дейр-эз-Зор (Сирия) были изучены четыре варианта полевого опыта: контроль (без

внесения биомелиорантов), применение только компоста, использование биопрепаратов на основе бактерий *Bacillus*, и их совместное использование. На основе полученных данных определена эффективность этих методов с позиций улучшения физических и биологических свойств почвы.

Анализ данных за три года (2020–2022 гг.) показал значительное влияние мелиорантов на урожайность люцерны. Средняя урожайность на контрольных участках варьировалась от 6,41 т/га в первый год до 7,10 т/га в третий. Применение компоста и биопрепаратов дало наибольший результат: 9,12 т/га в первый год, 9,78 т/га во второй и 9,44 т/га в третий год.

Новизной исследования стало детальное рассмотрение структуры урожая по укосам. В первый год (2020 г.) проведено 5 укосов, при этом на первые два укоса приходилось около 50% общей урожайности (26% и 24%). Во второй год (2021 г.) с увеличением числа укосов до 7 наблюдалась более равномерная структура, но наибольшая продуктивность сохранялась на первых трёх укосах. В третий год (2022 г.) распределение урожайности стало ещё более сбалансированным благодаря увеличению укосов до 8.

Абсолютные показатели урожайности подтверждают данные о структуре. В первый год при применении компоста и биопрепаратов первый укос дал 2,5 т/га, что значительно превышает показатели контрольного варианта. Последующие укосы показали снижение урожайности, но даже на поздних стадиях они оставались выше, чем в контрольных деланках.

Эффективное выращивание люцерны в аридных условиях невозможно без оптимизации орошения. Эвапотранспирация (ЕТс) в зоне средней увлажнённости составляет до 1114,2 мм за сезон, тогда как в аридных районах, таких как Дейр-эз-Зор, показатели значительно выше - до 1953,2 мм. Баланс водопотребления по укосам показал, что наибольшие затраты воды приходятся на периоды активного роста, что требует установления точных норм полива и контроля их частоты.

За три года проведения полевого опыта установлено, что поливные нормы должны поддерживать равномерное водоснабжение, особенно в периоды, когда люцерна наиболее активно потребляет влагу. Оптимизация режима орошения включала расчёт норм объёма поливной воды и число поливов между укосами. Эффективное распределение воды обеспечивало максимальную продуктивность люцерны.

Резюмируя изложенное, отметим, что применение мелиорантов, особенно комбинированного использования компоста и биопрепаратов, показало высокую эффективность в повышении урожайности люцерны и улучшении свойств почвы. Оптимизация режима орошения является основой успешного выращивания культуры в условиях аридного климата. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к мелиорации и управлению водными ресурсами для повышения устойчивости развития кормовой базы.

Была оценена рентабельность выращивания люцерны при максимальной урожайности 10 т/га. Экономический анализ показал, что доходы составляют 1750 долларов США при средней цене 175 долларов за тонну сена. Затраты, включая семена, удобрения и полив, составляют 975 долларов США. Чистая прибыль в этом случае составляет 775 долларов, а рентабельность - около 80%.

### 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

#### 3.1. Конструкция установки для промывки засоленных почв и оценка её эффективности

Автором лабораторной установки является А.Е. Касьянов, доктор технических наук, профессор кафедры, который до 2024 года был научным руководителем аспиранта Исмаила Хеба. Они стали соавторами 5 публикаций по теме главы (Касьянов, Кобозев, Исмаил, 2020); (Касьянов, Исмаил, 2021, 2022). конференциях (Исмаил, 2022, 2023).

Рассмотрим конструктивные особенности лабораторной установки для промывки засоленных почв. Итак, конструкция влагомера представлена на рисунке 8.1. Влагомер включает трубчатый корпус 9, снабженный горловиной 1 и уплотнительным кольцом, контактный блок 6, с подводными проводами 7 от датчиков влажности 8. Влагомер комплектуется аккумулятором 3, цифровым вольтметром 4 и подводными проводами 7 к цифровому вольтметру 4. Заглушка 2 закрывает контактный блок 6 после проведения измерений.

Влагомер используют следующим образом. Устраивают почвенный разрез глубиной не менее длины трубчатого корпуса 9. В угловой части почвенного разреза устанавливают трубчатый корпус 9. В прилегающих к влагомеру стенках почвенного разреза устраивают щели, в которых размещают датчики влажности 8. Проводят контрольные промеры электрических сетей, затем послойно засыпают почвенный разрез. Для тарировки датчиков влагомера устраивают заливную площадку. Цифровым вольтметром фиксируют напряжение тока на аналоговых контактах датчиков 8 на контактном блоке 6. Параллельно термостатно-весовым методом измеряют влажность почвы по горизонтам установки датчиков влажности 8.

Для оценки стабильности функционирования влагомера тарировку повторяют несколько раз с интервалом 2...3 недели. Тарированный график влагомера в координатах: «напряжение тока на аналоговых контактах датчика влажности - влажность почвы» строят по усредненным значениям всех измерений. В качестве корпуса влагомера используют раструбные полипропиленовые трубы диаметром 50...75 мм. Корпус влагомера можно собирать из отдельных отрезков раструбных труб диаметром 50...75 и длиной 250...300 мм. Раструбы снабжаются уплотнительными кольцами.

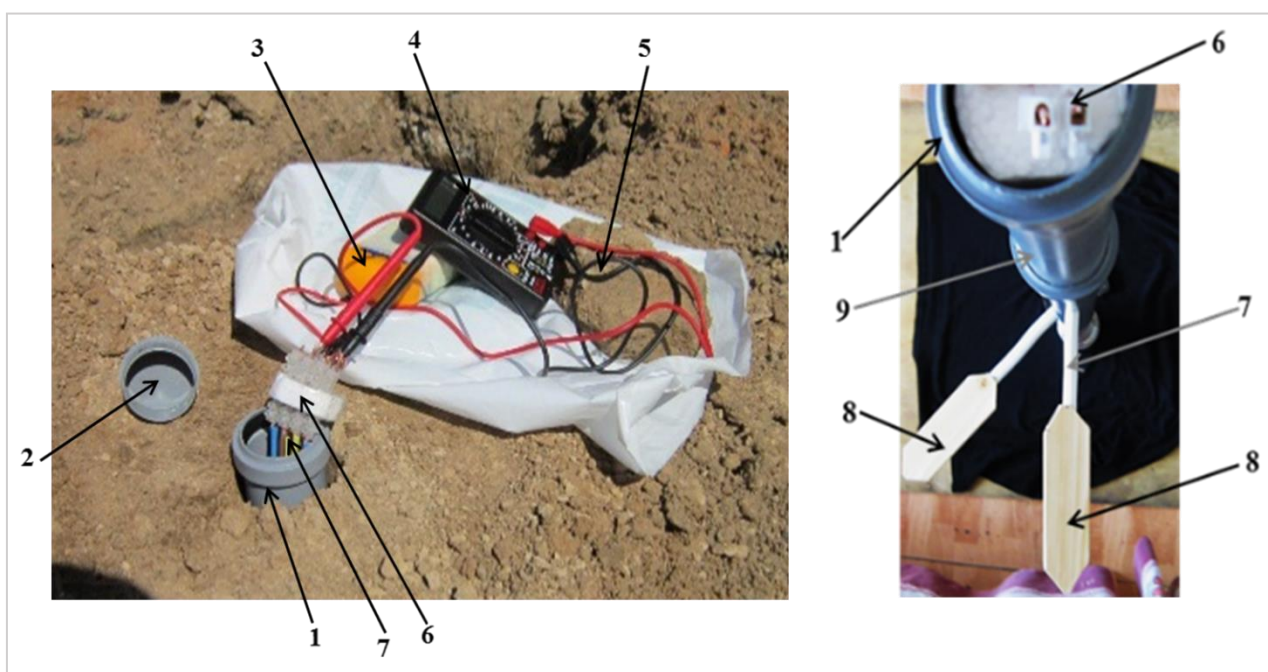


Рисунок 8.1. Конструкция градиентного влагомера влажности почвы:

1 – горловина корпуса влагомера с уплотнительным кольцом; 2 – заглушка горловины; 3 – аккумулятор; 4 – цифровой вольтметр; 5 – подводящие провода к цифровому вольтметру; 6 – контактный блок влагомера; 7 – подводящие провода от датчиков влажности почвы; 8 – датчик влажности; 9 – трубчатый корпус влагомера

Датчики влажности и отводящие провода, места прохода проводов через стенки труб герметизируют. От влаги защищают внутреннее пространство труб. Основу контактного блока изготавливают из уплотнённого полипропилена, поливинилхлорида и других диэлектрических полимеров,

текстолита, гетинакса. Контакты снабжены клеммами с болтовыми прижимами. В качестве датчиков влажности можно использовать ёмкостное, индукционное, резисторное оборудование. В действующем прототипе влагомера в качестве датчиков влажности использованы ёмкостные датчики TREMA-module IARDUINO. Для подзарядки аккумулятора следует применять заряжающие устройства от гаджетов с выходным напряжением тока 3...5 в и током до 500 мА.

Испытания действующего макета влагомера проведены в полевых условиях. На выровненном кавальере в шурфе установили влагомер. Почву вокруг горловины. На глубинах 25 и 50 см разместили два датчика влажности. Вокруг влагомера устроили заливную площадку 3х3 м. Тарировку влагомера проводили в течение 3-х недель. С интервалом в 7 суток 40-сантиметровый слой почвы трижды пропитывался водой до полной водоудерживающей способности.

Через каждые 3 дня регистрировалось напряжение тока на аналоговых контактах датчиков влажности и параллельно измерялась влажность почвы на глубинах 25 и 50 см методом термостата-весов. Напряжение тока на батарее составляло 5 В. За весь период наблюдений влажность почвы колебалась в пределах 0,7...0,9 от полной влагоемкости, напряжение тока составляло 1,1...1,6 В.

График тарирования строился по средним значениям всех результатов наблюдений. Относительная погрешность измерений составила 2...3 %.

В течение трёх недель погрешность измерений влажности не изменялась. Протечек вдоль корпуса влагомера не отмечалось. Влагомер устанавливаются в почве на весь период вегетации.

Конструкция установки для физического моделирования промывки засоленных почв показана на рисунке 8.2. Установка включает стойку пьезометров 1, закреплённой на лабораторном кронштейне 2, уравнивательный слив 3, установленный в горловине корпуса 4, узлы отбора пробы почвенного

раствора 5 и подключения пьезометров 6, концевой сброс фильтрата 7, поворотную концевую часть корпуса установки 8.

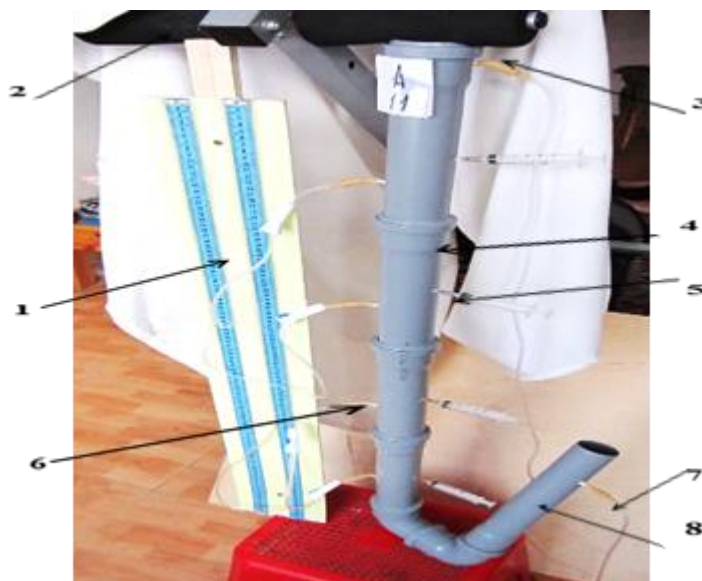


Рисунок 8.2. Установка для физического моделирования промывки засоленных почв:

1 – стойка пьезометров; 2 – лабораторный кронштейн; 3 – уравнильный слив; 4 – корпус установки; 5 – узел отбора пробы почвенного раствора; 6 – узел подключения пьезометра; 7 – концевой сброс фильтрата; 8 – поворотная концевая часть корпуса установки

Пьезометры, сливы и соединительные шланги выполнены из трубок медицинского комплекта для инфузионной терапии. Узел отбора проб почвенной влаги выполнены из одноразовых шприцев объёмом 5...10 мл, снабжённых иглами калибра 12G...22G. При измерении электропроводности почвенной влаги в полость иглы вставляют изолированный проводник. Игла и проводник выполняют функции почвенных электродов. Корпус установки собран из отдельных патрубков, снабжённых горловинами и уплотнительными кольцами. В качестве патрубков используют полипропиленовые трубы диаметром 50...70 мм. Концевая и поворотная часть корпуса выполнена из уголка в  $90^{\circ}$  и патрубка. Длина патрубков 20...30 см. В корпусе размещают почвенные керны. В почвах плотного,



уплотнённого и слаборыхлого сложения керны отбирают объёмным буром. В рыхлых и рассыпчатых почвах керн отбирают врезкой и окапыванием патрубком. Патрубки соединяют в единый корпус. Корпус и пьезометры закрепляют на лабораторном кронштейне. На корпусе монтируют узлы подключения пьезометров и отбора образцов почвенной влаги, совмещённых с почвенными электродами. Длину корпуса принимают не менее 1 м. Для пятикратной повторности измерений монтируют не менее пяти установок. Монтаж установки занимает не более 30 мин. Стоимость компонентов установки в ценах 2021 года не превышает 550 руб. Комплектующие приобретаются в магазинах сантехники и аптеках. Одновременно с забором кернов в поле отбирают образцы почвы для определения водно-физических свойств. На установке проводят фильтрационные исследования и градиентные измерения перемещения солей.

Полевые испытания прототипа установки выполнены на карте намыва песчаного карьера, расположенного в пойме рек Гжелка, и Москва Раменского региона Московской области. Водно-физические свойства песка определяли стандартными методами.

Таблица 8.1. Динамика коэффициента фильтрации по слоям профиля, м/сут.

Горизонт и мощность слоя, см	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Стандартная погрешность, м/сут.
0 - 13	2,39	±0,030
13 - 35	2,37	±0,031
35 - 60	2,35	±0,032
60 - 85	2,34	±0,046
85 - 120	2,32	±0,032
0 - 120	2,33	±0,031

Аллювиальный намывтый песок средней крупности диаметр фракций 0,6...0,8 мм, пористость  $0,37 \pm 0,04$ , объёмная масса  $1,32 \pm 0,03$  г/см<sup>3</sup>, коэффициент фильтрации  $2,36 \pm 0,041$  м/сут. Коэффициент фильтрации в пятикратной повторности определяли методом залива квадратов. Для забора кернов патрубки поочерёдно врезали в песок, постепенно окапывали и после

заполнения извлекали на поверхность. Для фиксации керн внутренняя поверхность патрубка обрабатывалась герметиками. Герметик устранял фильтрацию влаги между керном и внутренней поверхностью патрубка. Патрубки соединялись в корпус установки длиной 120 см. Для обеспечения пятикратной повторяемости смонтировали пять установок. По слоям профиля выполнили измерения коэффициентов фильтрации. В таблице 8.1 приведены результаты измерения коэффициента фильтрации по слоям профиля.

Коэффициенты фильтрации по слоям профиля изменяются от  $2,39 \pm 0,030$  м/сут. верхнего горизонта до  $2,32 \pm 0,032$  м/сут. нижнего горизонта профиля. Коэффициенты фильтрации профиля, измеренные на установке –  $2,33 \pm 0,031$  м/сут. и в полевых условиях –  $2,36 \pm 0,041$  м/сут. существенно не различаются.

Конструкция модифицированной установки показана на рисунке 8.3.

Установка включает стойку пьезометров 1, корпуса установки 2 и подающие трубопроводы 3, закреплённые на лабораторной стойке 4, уравнивательные сливы 5, установленные в горловинах 6 корпусов 2, датчики концентрации почвенного раствора 7, узлы подключения пьезометров 8, концевые сбросы фильтрата 9, цифровой LCR метр XJW01 10.

Пьезометры, сливы и соединительные шланги выполнены из трубок медицинского комплекта для инфузионной терапии. Датчики концентрации почвенного раствора влаги выполнены из одноразовых шприцев объёмом 5...10 мл, снабжённых иглами калибра 12G...22G, токопроводящими обкладками и проволочными обмотками. На 60% длины игл алмазным надфилем прорезаны дополнительные отверстия. Токопроводящие обкладки выполнены из медного скотча шириной 15 мм и толщиной 0,06 мм. Марка меди ММ, клеевой слой акриловый однослойный. Проволочные обмотки выполнены из медного обмоточного провода марки ПЭТВ-2 диаметром 0,05 мм и состоят из 280 витков. Концы проводов обмоток соединены с концами токопроводящих обкладок, образуя электрические колебательные контуры. На каждом корпусе установлено 4 датчика, которые размещены на глубинах

18, 40, 65, 95 см от поверхности почвенного образца. Датчики концентрации почвенного раствора работают как электрические колебательные контуры, величина добротности параллельного контура  $Q = Re \cdot \sqrt{C/L}$ , где  $Re$  – сумма активных сопротивлений в цепях обмотки и обкладок датчика;  $C$  – электрическая ёмкость датчика;  $L$  – индуктивность обмотки датчика. Величина  $Q$  зависит от концентрации раствора в корпусе датчика. Калибровку датчиков выполнили изменением площади обкладок и числа витков обмотки.

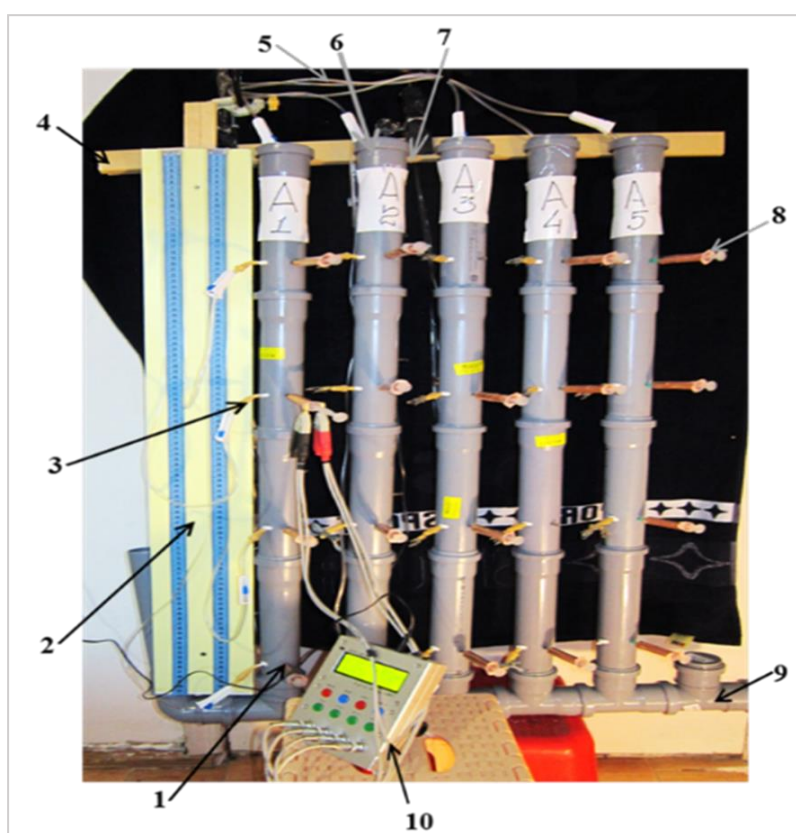


Рисунок 8.3. Модернизированная установка для физического моделирования промывки засоленных почв:

1 – корпус установки; 2 – стойка пьезометра; 3 – узел подключения пьезометра; 4 – лабораторная стойка; 5 – подающие трубопроводы; 6 – горловина корпуса; 7 – уравнильный слив; 8 – датчик концентрации почвенного раствора; 9 – концевой сброс фильтрата; 10 – цифровой LCR метр ХЖW01.

Эта установка (рис. 8.3) обладает универсальностью для проведения различных типов мелиоративных исследований, направлена на совершенствование методов обработки засоленных почв.

Пьезометры, сливы и соединительные шланги выполнены из трубок медицинского комплекта для инфузионной терапии. Датчики концентрации почвенного раствора влаги выполнены из одноразовых шприцев объёмом 5...10 мл, снабжённых иглами калибра 12G...22G, токопроводящими обкладками и проволочными обмотками. На 60% длины игл алмазным надфилем прорезаны дополнительные отверстия. Токопроводящие обкладки выполнены из медного скотча шириной 15 мм и толщиной 0,06 мм. Марка меди ММ, клеевой слой акриловый однослойный. Проволочные обмотки выполнены из медного обмоточного провода марки ПЭТВ-2 диаметром 0,05 мм и состоят из 280 витков. Концы проводов обмоток соединены с концами токопроводящих обкладок, образуя электрические колебательные контуры. На каждом корпусе установлено 4 датчика, которые размещены на глубинах 18, 40, 65, 95 см от поверхности почвенного образца. Датчики концентрации почвенного раствора работают как электрические колебательные контуры. Величина добротности параллельного контура определяется по формуле:

$$Q = Re \cdot \sqrt{C/L},$$

где:  $Re$  – сумма активных сопротивлений в цепях обмотки и обкладок датчика;  $C$  – электрическая ёмкость датчика;  $L$  – индуктивность обмотки датчика.

Величина  $Q$  зависит от концентрации раствора в корпусе датчика. Калибровку датчиков выполнили изменением площади обкладок и числа витков обмотки.

Величины добротности пустых датчиков изменялась в пределах  $268,8 \pm 1,92$  при уровне доверительной вероятности  $P = 0,99$ , числе степеней свободы  $k = 4$  и критерии Стьюдента  $t = 4,60$ . Добротность датчиков

измеряли цифровым LCR метр ХJW01. Диапазон измерения от 0,000 до 999,0. Базовая точность 0,3%. Прибор автоматически определяет датчик как колебательный контур и фиксирует величину его добротности. Зависимость между концентрацией раствора гидрокарбоната натрия и величиной добротности датчика установили тарировкой.

Корпус датчика заполняли раствором гидрокарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ) и определили величину его добротности. Температура раствора 24 С°. В таблице 8.2 приведены данные тарировки датчиков.

Корпуса установки собирали из отдельных патрубков, снабжённых горловинами и уплотнительными кольцами. В качестве патрубков использовали полипропиленовые трубы диаметром 50...70 мм.

Таблица 8.2. Зависимость величины добротности датчика от концентрации раствора  $\text{NaHCO}_3$

Концентрация $\text{NaHCO}_3$ , ммоль/дм <sup>3</sup>	Величина добротности	Доверительный интервал, при P=0,99; k=4; t=4,60
0	282	282±2,1
50	274	274±2,3
100	267	267±2,6
150	259	259±2,6
200	241	241±2,4
250	235	235±2,4
300	227	227±2,5
350	221	221±2,7

Длина патрубков составляет 20...30 см. Патрубки соединяли в единый корпус. Длина корпуса 100 см. Установка включает пять корпусов, что позволяет проводить исследования одновременно на пяти почвенных образцах, обеспечивая пятикратную повторность опыта. Испытания прототипа модернизированной установки выполнили на монолитах, которые ранее были использованы для послойного измерения коэффициентов

фильтрации. Монолиты взяты с карты намыва песчаного карьера, расположенного в пойме рек Гжелка, и Москва Раменского региона Московской области. Аллювиальный намытый песок средней крупности диаметр фракций 0,6...0,8 мм, пористость  $0,37 \pm 0,04$  (среднее  $\pm$  ошибка среднего) объёмная масса  $1,32 \pm 0,03$  г/см<sup>3</sup>, коэффициент фильтрации  $2,36 \pm 0,041$  м/сут, токсичные соли отсутствуют. Подачей воды снизу монолиты были заполнены 3% водным раствором NaHCO<sub>3</sub>. Подачей воды сверху начался процесс промывки. Показания датчиков концентрации почвенного раствора фиксировали с интервалом 30 мин цифровым LCR метром XJW01. Измеренные величины добротности датчиков посредством данных, представленной выше таблицы, пересчитывались в величины концентрации NaHCO<sub>3</sub>.

На рисунке 8.4 показано изменение по слоям монолита концентрации почвенной влаги в начальный период процесса.



Рисунок 8.4. Изменение концентрации почвенной влаги (ммоль/дм<sup>3</sup>) по слоям монолита, см, в процессе промывки

Результаты эксперимента показывают, что использование установки для физического моделирования позволяет добиться значительного снижения содержания солей в почве. В частности, данные по электропроводности водных экстрактов свидетельствуют о снижении концентрации солей в промытых образцах по сравнению с контрольными.

### 3.2. Методические указания и инструкция по использованию установки

**Установка предназначена** для физического моделирования процесса промывки засоленных почв в лабораторных условиях. Она обеспечивает контроль концентрации солей, фильтрационных характеристик почвы и динамики водно-солевого баланса.

***Установка включает следующие компоненты:***

- 1) корпус установки представляют полипропиленовые трубы диаметром 50–70 мм, соединяемые в единый блок длиной 100 см,
- 2) пьезометры изготовлены из медицинских трубок, подключенных к узлам отбора проб,
- 3) узлы отбора проб почвенной влаги: выполнены из одноразовых шприцев с иглами, позволяющими проводить измерения концентрации почвенного раствора,
- 4) датчики концентрации раствора: электрические колебательные контуры, выполненные из медных обкладок и обмоток, размещённые на разных глубинах (18, 40, 65, 95 см),
- 5) сливы и трубопроводы: обеспечивают равномерную подачу воды и отвод фильтрата,
- 6) цифровой LCR-метр XJW01: используется для измерения добротности датчиков и определения концентрации солей.

## Подготовка установки к работе

### *Сборка корпуса:*

- 1) соедините патрубки длиной 20–30 см с помощью уплотнительных колец,
- 2) установите пьезометры, сливы и узлы отбора проб согласно схеме,

### *Установка датчиков:*

- 3) закрепите датчики на глубинах 18, 40, 65 и 95 см,
- 4) подключите датчики к LCR-метру, используя изолированные проводники,

### *Подготовка почвенного образца:*

- 5) отберите монолит почвы объёмным буром или методом врезки и окапывания,
- 6) поместите образец в корпус установки,

### *Тарировка датчиков:*

- 7) заполните корпус растворами  $\text{NaHCO}_3$  разной концентрации,
- 8) измерьте добротность каждого датчика и составьте тарировочную таблицу.

## Проведение эксперимента

### *Подготовка почвенного раствора:*

- 1) залейте почвенный образец 3% раствором  $\text{NaHCO}_3$  снизу до полной влагоёмкости,

### *Подача воды:*

- 2) организуйте равномерную подачу воды сверху,
- 3) установите интервал подачи воды 30–60 минут для равномерного вымывания солей,

### *Отбор проб:*

- 4) через узлы отбора проб проводите забор почвенного раствора каждые 30 минут,
- 5) измеряйте концентрацию раствора с помощью LCR-метра,

### *Запись результатов:*

- 6) фиксируйте показатели концентрации и фильтрации в таблице,



7) проведите пересчёт данных добротности в концентрацию  $\text{NaHCO}_3$  по тарировочным данным.

### **Техника безопасности**

- 1) используйте защитные перчатки и очки при работе с растворами,
- 2) проверяйте герметичность соединений для предотвращения утечек,
- 3) во время работы с электрическими компонентами избегайте попадания влаги на контакты.

### **Уход за установкой**

- 1) после завершения эксперимента промойте все элементы установки чистой водой,
- 2) осмотрите датчики на наличие повреждений, при необходимости замените,
- 3) храните компоненты в сухом месте для предотвращения коррозии.

Изложенные методические указания обеспечивают корректное использование установки, позволяя получать точные и воспроизводимые результаты по промывке засоленных почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Исследования, проведённые в условиях аридного климата Сирийской Арабской Республики, позволили разработать агробиомелиоративные приёмы для повышения продуктивности засоленных почв и реализации природоподобных технологий. Основной целью исследования являлась разработка научно обоснованных приёмов биологической мелиорации засоленных почв, направленных на повышение продуктивности люцерны и оптимизацию водного баланса через комплексное изучение микробиологической активности почвы, водно-физических свойств почв, динамики концентрации солей в почвенном профиле, а также создание технологических решений для моделирования промывки почвы.

В ходе выполнения исследования были решены следующие задачи:

1. Оценено влияние микроорганизмов на микробиологическую активность засоленных почв и урожайность люцерны. Было установлено, что использование биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus* значительно улучшает микробиологическую активность почвы, что приводит к увеличению урожайности люцерны.

2. Изучены взаимосвязи и созданы модели влияния биопрепаратов на динамику электропроводности, кислотности и концентрации солей в различных слоях почвы. Результаты показали, что применение биопрепаратов способствует снижению уровня засоленности почвы и улучшению её химического состава.

3. Получены модели динамики общей урожайности люцерны по годам выращивания под воздействием биологических мелиорантов. Было выявлено, что комбинированное использование компоста и биопрепаратов оказывает наиболее выраженное положительное воздействие, обеспечивая повышение урожайности на 35–40% по сравнению с контролем.

4. Оценена сезонная динамика урожая по годам и получены модели структуры относительной и абсолютной урожайности люцерны по укосам и

годам выращивания. Это позволило определить оптимальные сроки и объемы полива для достижения максимальной продуктивности.

5. Определены параметры эвапотранспирации по месяцам, разработана схема сбалансированного водопотребления, оптимизирован режим орошения и получены модели нормирования количества поливов и объема воды между укосами в соответствии с годами выращивания люцерны. Это помогло снизить коэффициент водопотребления до 1437 – 1947 м<sup>3</sup>/т и обеспечить рациональное использование ограниченных водных ресурсов.

6. Усовершенствована и апробирована лабораторная установка для физического моделирования промывки засоленных почв. Это позволило провести эксперименты по промывке почвы в контролируемых лабораторных условиях и получить данные для разработки рекомендаций по промывным нормам и режимам орошения.

Таким образом, результаты исследования подтверждают достижение поставленной цели и успешную реализацию всех задач исследования. Предложенные агробиомелиоративные приёмы и природоподобные технологии могут быть эффективно использованы для восстановления и устойчивого использования засоленных почв в Сирии, что способствует увеличению продуктивности сельскохозяйственных культур и стабилизации агроэкосистем.

## **Рекомендации для производства**

### ***1. Использование биомелиорантов***

Рекомендуется применять компост из органических отходов в дозе 20–30 т/га и биопрепараты на основе бактерий *Bacillus* для улучшения структуры и биологической активности почвы. Комбинированное применение компоста и биопрепаратов является наиболее эффективным для мелиорации засоленных почв и повышения продуктивности люцерны.

## ***2. Оптимизация режимов орошения***

В условиях аридного климата следует использовать дифференцированные нормы орошения, адаптированные к фазам роста люцерны, с учётом климатических условий. Максимальные нормы полива (1200 – 1350 м<sup>3</sup>/га) должны быть предусмотрены для периодов активного роста (бутонизация и цветение), а минимальные (800 м<sup>3</sup>/га) - для начальных и поздних фаз вегетации.

## ***3. Модели нормирования поливного режима***

Для планирования поливов рекомендуется использовать разработанные регрессионные модели, которые позволяют учитывать сезонные колебания и потребности культуры в воде. Это снижает риск перерасхода водных ресурсов и поддерживает устойчивый водный баланс почвы.

## ***4. Технические решения для мелиорации***

При восстановлении засоленных почв рекомендуется использовать установки для моделирования и промывки почв с учётом особенностей их солевого состава. Это позволит ускорить процессы рассоления и повысить эффективность мелиоративных мероприятий.

## ***5. Практическое внедрение в агроэкосистемы***

Рекомендуется внедрять предложенные технологии в агроэкосистемы Сирии для повышения устойчивости сельскохозяйственного производства в условиях засушливого климата.

Применение предложенных подходов и рекомендаций способствует значительному повышению продуктивности люцерны и рациональному использованию водных и земельных ресурсов, что особенно важно для аграрного сектора в аридных регионах.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

### **1. Улучшение водно-физических свойств почв под влиянием биомелиорантов**

Применение биомелиорантов, таких как компост и биопрепараты, значительно улучшает водно-физические свойства почвы. Это проявляется в снижении электропроводности и кислотности, особенно в верхних слоях (0–25 см), благодаря синергетическому взаимодействию компонентов. Компост увеличивает содержание органического вещества, а биопрепараты стимулируют биологические процессы, приводя к улучшению структуры почвы и её водоудерживающей способности.

### **2. Влияние биомелиорантов на концентрацию солей почвы**

Биомелиоранты способствуют оптимизации содержания питательных элементов в почве, снижая концентрацию натрия и увеличивая доступность калия, кальция и магния. Наибольшая эффективность достигается при совместном применении компоста и биопрепаратов. Это обеспечивает снижение уровня засоленности, повышение доступности полезных макроэлементов и улучшение их распределения в почвенном профиле.

### **3. Влияние биомелиорантов на урожайность по годам выращивания**

Урожайность люцерны возрастала на всех этапах опыта, достигая максимума на третий год выращивания (9,44 т/га) при использовании комбинации компоста и биопрепаратов. Биомелиоранты способствуют улучшению состояния почвы, что обеспечивает стабильный рост продуктивности на протяжении всех лет наблюдений.

### **4. Структура урожайности по укосам и годам выращивания для лучшего варианта опыта (Компост + биопрепарат *Bacillus*)**

Совместное применение компоста и биопрепаратов обеспечивает наибольшую урожайность на всех укосах благодаря улучшению структуры и биологической активности почвы. Наибольшие показатели урожайности фиксируются в начале сезона (1-й и 2-й укосы) и в среднем сезоне (3-й и 4-й

укосы), когда растения достигают пика своего роста. В третий год количество укосов увеличилось до 8, а их вклад в общую урожайность остался равномерным, что подтверждает эффективность лучшего варианта.

### ***5. Оптимизация режима орошения для лучшего варианта опыта***

Оптимизация режима орошения основана на расчётах эвапотранспирации по методу Пенмана-Монтейта, суммарного водопотребления, урожайности люцерны и составляющих компонентов водного баланса. Разработанные модели норм полива и количества орошений между укосами, построенные на основе водного баланса, обеспечивают точное определение потребностей растений в воде на каждом этапе их развития. Максимальное водопотребление наблюдается в периоды активного роста растений (бутонизация и цветение). Применение компоста и биопрепаратов снижает коэффициент водопотребления, что позволяет добиться высокой урожайности при рациональном использовании водных ресурсов. Разработанные модели подтверждают свою эффективность, обеспечивая устойчивую продуктивность люцерны и адаптацию агросистем к аридным условиям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т. и др. Прикладная модель рассоления засоленных почв // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 198-205.
2. Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Безбородов Ю. Г. Методологическое обеспечение технологии промывки засоленных почв // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2017. С. 207-210.
3. Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т. и др. Способ и технология освоения засоленных земель для сельскохозяйственного использования // Мелиорация и водное хозяйство: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения) с международным участием. Выпуск 16 Часть 1. Новочеркасск, 2018. С. 3-8.
4. Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т. и др. Технология и технологическая схема промывки засоленных земель // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы пути решения: материалы между. науч.-практ. конф. (29-30 ноября 2016 г.). Москва. 2016. Т. 1. С. 135-139.
5. Абдуллабекова Д. А., Магомедова Е. С., Магомедов Г. Г., Качалкин А. В. Дрожжи как элемент биоразнообразия почвы ампелоценоза в условиях аридного климата // Аридные экосистемы. Т. 27. № 3 (88). С. 96-102.
6. Абдуллабекова Д.А., Магомедова Е.С., Магомедов Г.Г., Качалкин А.В. Дрожжи как элемент биоразнообразия почвы ампелоценоза в условиях аридного климата // Аридные экосистемы. 2021. №3 (88).
7. Абдуллаев И. У., Абдуллаева Н. К. Применение геостатистических методов анализа для мониторинга засоления почв // Актуальные проблемы геодезии, картографии, кадастра, геоинформационных технологий, рационального земле- и природопользования: Электронный сборник материалов Международной научно-технической конференции, Новополоцк, 09–10 июня 2022 года. Новополоцк: Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 2022. С. 11-15.
8. Абдурахимов Н. Н., Болтаев С. М. Влияние органоминеральных компостов на мелиоративное состояние средnezасолённых такырно-

- луговых почв // Экономика и социум. 2020. № 9 (76). С. 92-97.
9. Азимов А. М. О., Вердиева В. Г. Г. Эффективность воздействия микроэлементов на кормовые культуры в условиях равнинных почв Карабаха // Евразийский Союз Ученых. 2020. № 11-4 (80). С. 34-37.
  10. Аканова Н.И., Козлова А.В., Фокин С.А., Солнцев П.И. Эффективность применения магниевых удобрений при возделывании сои на различных типах почв // Плодородие. 2022. № 5(128).
  11. Аканова, Н. И., Козлова, А. В., Мухина, М. Т. Роль магния в системе питания растений // Агрехимический вестник. — 2021. — № 6. — С. 66–72.
  12. Алейникова И. В., Дьяченко В. В. Влияние борофоски на урожайность люцерно-мятликовых травосмесей // Агрэкологические аспекты устойчивого развития АПК. 2015. С. 49-52.
  13. Алиев З. Г.-О. К вопросу повышения эффективности промывки засоленных почв низменностей на территории Азербайджана // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (11). С. 31-35.
  14. Ашкинази Э.И. Миграция натрия, калия, цезия-137 в звене почва — растение // Гигиена и санитария. 1988. № 4.
  15. Бабичев А. Н., Сидоренко Д. П. Гранулометрический состав как важный экологический показатель плодородия почв Багаевского района // Экология и водное хозяйство. 2023. №1. С. 32–44.
  16. Балгабеков К., Алипбеков Н., Абильдаева Ж., Тагаев А., Оспанов А. Влияние фитомелиорации на плодородие малопродуктивных почв // Endless light in science. 2024. Т. 2. № февраль. С. 469-472.
  17. Бармин А. Н., Валов М. В., Иолин М. М. Геохимические особенности миграции легкорастворимых солей в почвах лугов низкого уровня дельты реки Волги // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 1. С. 39-43.
  18. Баранов Е.И. Урожайность люцерны и козлятника восточного в зависимости от мелиоранта, удобрений и способов посева в условиях Юго-Востока ЦЧЗ. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук. Каменная степь 2005. 20 с.
  19. Бегматов Ш. А. Ассоциативные бактерии засоленных почв и возможность их использования в агробιοтехнологиях // Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.03. ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, 2020. - 24 с.
  20. Бегматов Ш. А., Селицкая О. В., Васильева Л. В. и др. Морфофизиологические особенности некоторых культивируемых бактерий засоленных почв Приаралья // Почвоведение. 2020. № 1.



С.81-88.

21. Бекбаев Р. Мелиоративная эффективность фосфогипса на орошаемых землях бассейна рек Аса-Талас // Московский экономический журнал. 2016. № 3. С. 76-91.
22. Белозерова Е. С., Мороз А. А. Сравнение биохимической активности бактерий рода *Bacillus*, выделенных из почвы и воды // Инновационно-технологическое развитие науки: сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях. Часть 2. Уфа, 2017. С. 231-236.
23. Биоразнообразие микробных сообществ геотермальных вод и засоленных почв в регионах Прикаспийской низменности (Республика Дагестан)//Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 5-1. С. 99-105.
24. Бородычѳв В. В., Губин В. К., Коломийцев Н. В. и др. Способ рассоления тяжелых засоленных земель. Патент RU 2555034 С1. № 2014106774/13; Заявлено 24-02-2014. Опубликовано 09-07-2015.
25. Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сазанов М. А., Лытов М. Н. Моделирование процесса управления водно-солевым режимом почв в условиях орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2 (42). С. 26-33.
26. Бурлова В. Г., Зеленская Е. А. Способ мелиорации засоленных орошаемых земель. Патент RU 2649325 С2. № 2015147934; Заявлено 05-11-2015. Опубликовано 01-04-2018.
27. Васильченко Н. Г., Горовцов А. В. Биологическое разнообразие бактерий рода *Bacillus* в почвах сухостепной зоны Ростовской области // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, посвящается 75-летию Адыгейского государственного университета, Майкоп, 14–16 октября 2015 года. Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2015. С. 101-103.
28. Веремейчик, Л. А. Исследование влияния длительного применения минеральных корнеобитаемых сред на урожайность плодов томата // Весці НАН Беларусі. — 2005. — С. 59–63.
29. Ветрова, О. А. Влияние минеральных удобрений на биохимический состав и качество плодов [Электронный ресурс] / О. А. Ветрова, Т. А. Краева // Современное садоводство. — 2019. — № 3.
30. Воеводина Л. А., Балакай Г. Т. Обзор новых направлений исследований по использованию микроорганизмов для повышения биопродуктивности засоленных земель // Мелиорация и гидротехника. 2017. № 4 (28). С. 154-169.

31. Воеводина, Л. А. Магний для почвы и растений [Электронный ресурс] / Л. А. Воеводина, О. В. Воеводин // Мелиорация и гидротехника. — 2015. — № 2 (18).
32. Волошин, Е. И. Влияние калийных удобрений на продуктивность картофеля на черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи [Электронный ресурс] / Е. И. Волошин // Вестник КрасГАУ. — 2006. — № 11.
33. Воронкова, Н. А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и соломы в севообороте на калийный режим чернозема выщелоченного [Электронный ресурс] / Н. А. Воронкова, И. Ф. Храмцов // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2 (часть 2). — С. 307-312.
34. Гаврилюк Ф. Я., Вальков В. Ф., Клименко Г. Г. Почвы // Природные условия и естественные ресурсы Северного Кавказа. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1986. С. 232–268.
35. Гарибян П. А. Влияние инновационных технологий на ускорение процесса рассоления засоленных почв // Экономика, бизнес, инновации: сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. Пенза, 2022. С. 148-149.
36. Герасимов Ю.Ю., Хлюстов В.К. Математические методы и модели в расчётах на ЭВМ. Применение в лесоуправлении и экологии: Учебник для лесных вузов.- М.: МГУЛ, 2001.– 260 с.
37. Герман Н. В., Иванцова Е. А., Холоденко А. В. Особенности микробных сообществ в зональных почвах аридной зоны юго-востока европейской части России // Природные системы и ресурсы. 2017. Т. 7. № 3. С. 31-38.
38. Гилев С. Д., Волынкина О. В., Суркова Ю. В. Влияние природных и агротехнических факторов на содержание гумуса в почве // Агротехнический вестник. 2020. № 4. С. 36–45
39. Головатый, С. Е., Ковалевич, З. С., Лукашенко, Н. К. Влияние содержания натрия и хлора на урожайность яровых зерновых культур // Почвоведение и агрохимия. — 2010. — № 1. — С. 148–156.
40. Горохова И. Н., Панкова Е. И. Изменение мелиоративного состояния орошаемых земель в Волгоградской области за 2001-2018 годы // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2022. № 110. С. 51-89.
41. Григорян Л. Н., Батаева Ю. В., Яковлева Л. В. и др. Микробиологический состав засоленных почв аридных территорий // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 12. С. 6-13.

42. Гулиев А. Г., Самофалова И. А., Мудрых Н. М. Засоление глобальная экологическая проблема в орошаемом земледелии // Пермский аграрный вестник. 2014. № 4 (8). С. 32-43.
43. Гутько Ф. С., Киндеев А. Л. Геостатистический анализ кислотности почв для целей точного земледелия // Почвенные и земельные ресурсы: традиционные и инновационные подходы к изучению и управлению: Материалы международной научно-практической конференции, Минск: БГУ, 2023. С. 349-351.
44. Дедова Э. Б., Исаев О. И. Стратегия предотвращения опустынивания земель в степной зоне России // Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума. 2024. № X. С. 352-356.
45. Долгополова, Н. В., Пигорев, И. Я. Влияние различных концентраций минеральных комплексных соединений на томат тепличный // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. — 2016. — № 9.
46. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). –5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. –351 с.
47. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Изд. Диалектика, 2017. – 912 с.
48. Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н. Исследование химического состава водной вытяжки и оценка степени засоления орошаемых почв, подвешенных к коллекторам Семикаракорского района Ростовской области // Экология и водное хозяйство. 2020. № 2 (5). С. 36-48.
49. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Головатюк О.В. Сравнительная оценка продуктивности люцерны и клевера на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Известия НВ АУК. 2019. №3 (55).
50. Дубенок Н. Н., Бородычев В. В., Дедова Э. Б. Технология повышения продуктивности деградированных сельскохозяйственных угодий Калмыкии средствами комплексной мелиорации // Известия НВ АУК. 2013. №3 (31).
51. Евенкова-Чернецова К. И. Определение ростстимулирующей активности азотфиксирующих и фосфатмобилизующих штаммов солеустойчивых бактерий в условиях засоления//Молодежь в науке-2020: Тезисы докладов XVII Международной научной конференции. Минск, 2020. С. 201-203.
52. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. – М.: Издательство «Юрайт», 2016. – 445 с.
53. Енчилик П. Р., Клиник Г. В., Пеунова А. А. и др. Вариабельность кислотности, электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала в двух альфегумусовых почвах национального парка

- «Смоленское Поозерье» // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2024. № 65. С. 6-26.
54. Ермолаева О. С., Зейлигер А. М. Кейс пространственной корреляции между урожайностью биомассы посева орошаемой люцерны и влагозапасами почвенного покрова // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: Материалы III международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–15 сентября 2021 года. Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2021. С. 207-211.
  55. Жакеева М.Б., Бекенова У.С., Жумадилова Ж.Ш., Шорабаев Е.Ж., Абдиева К.М., Саданов А.К. Влияние разных доз биопрепаратов на урожайность и биометрический показатель люцерны // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21887>.
  56. Жоллыбеков Б. Б., Жоллыбеков Б. Влияние биоинтенсивных технологий на интенсивность гумификации органического вещества на орошаемых луговых аллювиальных засоленных почв // Современные тенденции развития аграрного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. с. Соленое Займище, 2016. С. 420-423.
  57. Жураев Ф. У., Мусулманов Ф. Ш. Применение техники и технологии для промывки сильнозасоленных почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 2. С. 29-33.
  58. Журова, В. Г. Изучение влияния ионов калия, кальция и магния на рост и развитие растений [Электронный ресурс] / В. Г. Журова, М. С. Светличная // Достижения науки и образования. — 2018. — № 14 (36).
  59. Жусупова Л. К., Умирзаков С. И., Абдешев К. Б. Методологическое обеспечение технологического процесса промывки засоленных гидроагрорландшафтов // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата. 2020. С. 25-39.
  60. Звягинцев Д.Г., Асеева И.В., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 224 с.
  61. Ибраева М. А., Сулейменова А. И., Дуйсеков С. Н. и др. Влияние применения дифференцированной системы мелиорации засоленных почв (НТОЗ-2) на плодородие рисовых полей и урожайность риса // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 1. С. 31-43.
  62. Ибраева М. А., Шаухарова Д. Е., Джуманова М. Влияние засоления почв на микробиологическую активность // Почвоведение и агрохимия. 2020. № 2. С. 71-78.
  63. Иванищев В. В., Евграшкина Т. Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растения // Известия Тульского

- государственного университета. Науки о земле. 2020. № 3. С. 28-42.
64. Иванова Е. П. Влияние дефеката и *Synorhizobium meliloti* на урожайные и кормовые достоинства люцерны изменчивой в условиях Приморского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (192). С. 65-71.
  65. Искендеров М. Я. Эффективность промывки засоленных почв с применением различных химических мелиорантов в условиях Кура-Араксинской низменности // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 4. С. 45-47.
  66. Исмаил, Х. Касьянов А.Е. Почвы содового засоления на территории Сирийской Арабской Республики / Х. Исмаил // В сборнике: Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова. Том 1. Москва, 2021. - С. 246-249.
  67. Исмаил, Х. Физическое моделирование промывки засоленных почв/ Х. Исмаил // В сборнике: Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции международный молодёжный научный форум Ломоносов, 2022.
  68. Исмаил, Х. Установка для исследования промывки засоленных почв в условиях Сирийской Арабской Республики / Х. Исмаил // В сборнике: Материалы Всероссийской с международным участием научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных Ломоносов, 2023. - С. 146-147
  69. Исмаил Хеба, Хлюстов В. К., Безбородов Ю.Г. Эффективность применения компоста и биопрепаратов *Bacillus* для регулирования кислотности почвы / Хеба Исмаил, В. К., Хлюстов, Ю.Г. Безбородов // Вестник Рязанского ГАУ имени П. А. Костычева». – 2024. - №7. – С.
  70. Исмаил Хеба, Хлюстов В. К., Безбородов Ю.Г. Роль биомелиорантов в снижении электропроводности и засоленности почв / Хеба Исмаил, В. К., Хлюстов, Ю.Г. Безбородов // Природообустройство. 2024. - № 4. - С.31-35.
  71. Исмаилов Н. М., Наджафова С. И., Кейсеровская Ф., Гасимова А. С. К вопросу о показателе ассимиляционного потенциала почв как составной части паспорта почв и ассимиляционного потенциала ландшафтов // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1 (82). С. 69-75.

72. Калинин А. К., Смаилова Г. Т., Сураганов М. Н. Влияние биопрепаратов на урожайность семян люцерны при их инокуляции и на плодородие почвы // Сельскохозяйственные науки. Кызылорда, Республика Казахстан, 2023. № 4(87). С. 92-99.
73. Карабутов, А. П. Влияние элементов агротехнологии на калийный режим почвы в длительных опытах [Электронный ресурс] / А. П. Карабутов, Г. И. Уваров // Региональные геосистемы. — 2015. — № 3 (200).
74. Караваева Т. И., Тихонов В. П. Экологическое обоснование использования активности микробиологического дыхания для оценки состояния почв при инженерно-экологических изысканиях // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 3. С. 283-294.
75. Касьянов А.Е. Градиентный влагомер влажности почвы/ А.Е. Касьянов, Д.Д. Кобозев, Х. Исмаил// Природообустройство. 2020. - № 4. – С. 44-47.
76. Касьянов А. Е., Исмаил Х. Модернизированная установка для физического моделирования промывки засоленных почв // Природообустройство. 2022. № 2. С. 36-40.
77. Касьянов А. Е., Исмаил Х. Установка для физического моделирования промывки засоленных почв // Природообустройство. 2021. № 2. С. 31-35.
78. Каюмова М. М. Системный подход в изучении мелиоративного состояния почв голодной степи // Экономика и социум. 2021. № 1-2 (80). С. 73-76.
79. Кирейчева Л. В., Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С. и др. Ресурсосберегающие и экологически безопасные способ и технология промывки засоленных почв // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 2. С. 62-69.
80. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв//Геосферные исследования. 2021. № 3. С.80-91.
81. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие и последствие длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели почвы // Плодородие. 2021. № 4(121).
82. Костенков Н. М., Клышевская С. В. Влияние процесса импультверизации на содержание солей в почвах прибрежных морских ландшафтов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 10. С. 81-84.
83. Красильников Г.М. Хасанханова. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, 2017. 153 с.
84. Куренкова Е. М. Урожайность различных сортов люцерны изменчивой в зависимости от способов основной обработки почвы и

известкования: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.06 / Куренкова Евгения Михайловна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»]. - Москва, 2021. - 22 с.

85. Кушнарева, А. В., Безуглова, О. С. Влияние орошения на свойства почв: Обзор // Живые и биокосные системы. — 2023. — № 46.
86. Лайсханов Ш. У. Изучение экологического и мелиоративного состояния заброшенных засоленных земель и их освоение в целях устойчивого развития // Академический форум молодых ученых стран Большой Евразии "Континент науки": Сборник тезисов докладов, Москва, 01–04 ноября 2023 года. Москва: Центр научно-технических решений, 2023. С. 318-321.
87. Литвинова, О. А., Дмитренко, О. В., Ковальова, С. П. (). Динамика содержания микроорганизмов и тяжёлых металлов в почвенном профиле серой лесной почвы при длительном применении удобрений в севообороте. Агроэкологический журнал. 2018.
88. Лукин, С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области) // Земледелие. - 2021. - № 1. - С. 11–15. - DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
89. Максимов, И. В., Абизгильдина, Р. Р., Пусенкова, Л. И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор) // Сборник научных статей журнала «Прикладная биохимия и микробиология». - М.: Российская академия наук, 2011. - № 4. - С. 373–385
90. Манжина С. А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 3. С. 163-181
91. Микаилсой Ф. Д., Шеин Е. В. Аналитическая математическая модель химической суффозии при промывках засоленных почв // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1085-1093
92. Мимонов, Р. В., Шаповалов, В. Ф., Смольский, Е. В., Нечаев, М. М., Дьяченко, В. В. Влияние удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 8.
93. Мирзоев Э. М-Р., Баламирзоев М. А., Курбанов С. А., Магомедова Д. С. Повышение плодородия трудномелиорируемых засоленных почв на основе автоморфного режима их увлажнения // Плодородие. 2010. № 1. С. 32-33
94. Митрофанова, Е. М. Кальций и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья // Агрохимический вестник. - 2011. - № 2.
95. Моисеев К. Г., Данилова Т. Н., Терлеев В. В. Физическое обеспечение моделирования процессов образования почвенных солевых корок //

- Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 124-134
96. Мохова В.И. Устойчивость к разнокачественному засолению зернового с орго сорта рось, выращенного на фоне минерального удобрения // Вестник КрасГАУ. 2020. №7 (160).
  97. Мустафаев Ж. С. Экологический профиль мелиорации сельскохозяйственных земель // Природообустройство. 2022. № 2. С. 13-22
  98. Мустафаев Ж. С., Абдешев К. Б. Технологии и технологические схемы промывок засоленных почв // Водное хозяйство Казахстана. 2014. Т. 1. С. 41-46
  99. Мустафаев Ж. С., Кирейчева Л. В., Козыкеева А. Т., Абдешев К. Б. Экологическое обоснование технологии промывки засоленных почв на основе моделирования природных процессов // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10-3 (41). С. 56-60
  100. Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т., Абдешев К. Б. Методологическое обеспечение экологически безопасной технологии промывки засоленных земель // Механика и технологии. 2016. № 1. С. 38-46.
  101. Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т., Абдешев К. Б. Технология промывки засоленных земель с учетом экологических ограничений // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 319-321.
  102. Назаров А. В., Ананьина Л. Н., Горбунов А. А. и др. Бактерии-продуценты эктоина ризосферы растений, произрастающих на техногенной засоленной почве // Почвоведение. 2022. № 8. С. 1000-1008
  103. Наумович Н. И., Антохина С. П., Алещенкова З. М. Оценка потенциала использования микробно-растительного взаимодействия для фиторемедиации засоленной почвы // Сахаровские чтения 2016 года: экологические проблемы XXI века: материалы 16-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2016 г., г. Минск, Республика Беларусь. Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2016. С. 181
  104. Неверов А.А. Стимулирующий эффект сульфата магния на стадии прорастания семян сельскохозяйственных культур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. Т. 87, № 1. С. 74-78
  105. Нечаева, Т. В., Гопц, Н. В., Савенков, О. А., Смирнова, Н. В. Магний в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. - 2019. - № 4.
  106. Ниёзов Х. А., Комилов К. У., Курбонов Э. Ж. и др. Использование фосфогипса для улучшения мелиоративных свойств почвы // Academic research in educational sciences. 2020. № 1. С. 92-101



107. Николаенко, А. Н., Кавокин, А. А. Моделирование связи структуры почвы с содержанием органического вещества и обменных  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. - 2020. - № 2.
108. Новочадов В. В., Иванцова Е. А., Крылов П. А. и др. Исследование металлзависимых белков доминирующих видов растений и микроорганизмов в аридных агробиоценозах Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2018. Т. 20. № 4. С. 173-182
109. Омельченко С. О., Омельченко А. В., Жижина М. Н. Изучение эколого-физиологических свойств галофитов крымской флоры в разработке методов рассоления засоленных почв // Крымский гуманитарный вестник: Сборник научных статей. 2020. Т. 4. С. 178-182.
110. Осипов А.В, Сухоруков К.А. Причины и виды засоления почв. // Тенденции развития науки и образования. 2023. (94). 128-130
111. Панкова Е. И., Конюшкова М. В., Горохова И. Н. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 1. С. 26-54
112. Пахчанян, Г. Г. Авторское свидетельство № 3268960 Госкомитета СССР по делам изобретений и открытий «Способ рассоления почв содового засоления» за 30 ноября 1983 г.
113. Персикова, Т. Ф., Радкевич, М. Л. Влияние микроэлементов, регуляторов роста растений и бактериальных удобрений на показатели структуры урожайности люпина узколистного // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 2.
114. Пироговская, Г. В., Русалович, А. М., Сороко, В. И., Сазоненко, О. П., Исаева, О. И., Аутко, А. А. Эффективность комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений с микроэлементами в технологии возделывания спаржевой фасоли // Вестник сельскохозяйственной науки. - 2009. - № (1) - С. 163-174.
115. Позднякова А.И. Использование полевых электрофизических методов с целью улучшения методики исследования почв // Пленарные доклады Всероссийской конференции «Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации». М.: МГУ, 2005. С. 67-72.
116. Приходько, И. А., Сергеев, А. Э., Комсюкова, Я. А. К вопросу применения минеральных и органических удобрений при выращивании риса // IACJ. - 2022. - № 3. - С. 1280 -1296
117. Приходько, И. А., Сергеев, А. Э., Комсюкова, Я. А. К вопросу применения минеральных и органических удобрений при выращивании риса // IACJ. - 2022. - № 3. - С. 1280–1296

118. Пунинский В. С. Совершенствование окультуривания неиспользуемых земель для органического производства сельхозпродукции // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения). Москва, 2020. Т. 2. С. 219-227
119. Разокова Д. Р., Буриева Д. И., Атаева З. А. Некоторые аспекты биостимуляции засоленных почв для повышения продуктивности сельского хозяйства // Inter education & global study. 2024. № 4 (1). С. 212-220
120. Рахимжанов А. Н. Технологические приемы освоения засоленных солонцовых почв при лесоразведении в сухой степи: автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.03.01. - Екатеринбург, 2016. - 19 с.
121. Рахимжанов А. Н. Технологические приемы освоения засоленных солонцовых почв при лесоразведении в сухой степи: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.03.01 // Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Екатеринбург, 2016. 22 с.
122. Рахманов Б., Мирсаитова Н. М., Ганиев Ш. Р. Методика изучения влияния замачивания и выщелачивания на свойства засоленных грунтов // Экономика и социум. 2024. № 2-2 (117). С. 599-613
123. Рисник Д. В. Связь почвенных факторов с урожайностью сои и люцерны // Биотехнология: достижения и перспективы развития: сборник материалов IV международной научно-практической конференции, Пинск, 20-22 ноября 2019 г.. Пинск: ПолесГУ, 2019. С. 133-136.
124. Романов А. Н., Хвостов И. В. Дистанционный микроволновый мониторинг засоленных почв // Известия АлтГУ. 2017. №4 (96).
125. Саакян С.В. Инновационные методы и технологии мелиорации засоленных почв и агролесомелиорация маргинальных ландшафтов /С.В. Саакян // Руководство по управлению засоленными почвами/Р. Варгаса, Е.И. Панковой, С.А. Балюка, П.В. Красильникова, Г.М. Хасанхановой. – ФАО, МГУ Москва-Рим: МГУ и ФАО, 2017. – Гл. 5. – С. 56-57
126. Савич В. И., Мосина Л. В., Норовсурэн Ж. и др. Микробиологическая активность почв как фактор почво-образования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 1. С. 38-42.
127. Садиев Ф. Ф., Широкова Ю. И., Палуашова Г. К. Исследование мелиоративного воздействия препарата «Биосольвент» на засоленные почвы при промывке и орошении // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 1. С. 24-46
128. Садовская Л. К. Состояние почвенного покрова в зоне влияния хвостохранилища Михайловского ГОКа и использование мелиорантов для повышения продуктивности овса и люцерны // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2015. № 1. С. 54.

129. Садомцев В. С. Влияние удобрений и способов посева люцерны на продуктивность последующих культур в звене орошаемого севооборота на черноземах Поволжья: Дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09, 06.01.02 : Пенза, 2004, 161 с.
130. Самедов П. А. Биоэнергетика засоленных почв // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 3. С. 112-117
131. Сапаров А. С., Токсеитов Н., Карабаева И. Ж. и др. Влияние галофильных микроорганизмов *Vasillus* sp. ПК-1 на рост и развитие кукурузы в условиях орошаемых засоленных почв Туркестанской области // Экология сериясы. 2020. № 1(62). С. 18-25
132. Святюк, Ю. В., Гидулянов, А. А., Пономарева, Т. Г. Действие продолжительного внесения калийных удобрений на урожайность озимой пшеницы сорта Селянка // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. - 2020. - № 24 (187)
133. Сейтказиев А. С., Винокуров Ю. И., Альжанова Л. А., Бирдибекова М. Т. Экологическая оценка мелиоративного режима засоленных почв орошаемых геосистем // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 1. С. 100-102
134. Сейтказиев А. С., Мусаев А. И. Методы улучшения продуктивности засоленных земель // Гидрометеорология и экология. 2010. № 3 (58). С. 163-173
135. Сейтказиева К. А., Естаев К. А., Сейтказиев А. С. Экологически безопасная технология промывки на засоленных землях // Современные проблемы развития мелиорации и пути: Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 72-78.
136. Сейтказиева К. А., Куандыкова Г. Т., Жигитова С. З. Анализ водно-солевого режима почвы при близком залегании грунтовых вод // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения). Москва, 2020. Т. 2. С. 145-149
137. Сидорова, Л. В., Яичкин, В. Н. Влияние азота, серы и калия в составе удобрений на урожайность и качество ярового ячменя // Известия ОГАУ. - 2017. - № 5 (67).
138. Скипин Л. Н., Гаевая Е. В., Тарасова С. С. Тестирование клубеньковых бактерий для природно и техногенно засоленных почв и грунтов // Аграрный вестник Урала. 2020. № S14. С. 81-90
139. Соколов, М. С., Спиридонов, Ю. Я., Глинушкин, А. П., Торопова, Е. Ю. Органическое удобрение - эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор её супрессивности // Достижения науки и техники АПК. - 2018. - № 1.
140. Соколова О. Я., Михайлова Е. А., Жеребятъева О. О. и др. Сравнительная оценка содержания агрономически значимых бактерий, участвующих в процессе гумусообразования в почвах различного типа

- // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 72-76
141. Соловьева В. Н., Воскобулова Н. И., Верещагина А. С. Влияние приемов возделывания на формирование урожая семян люцерны на черноземах южных солонцеватых // Вестник мясного скотоводства. 2012. № 3. С. 107-110.
  142. Соловьева В. Н., Воскобулова Н. И., Верещагина А. С., Будилов А. П. Влияние агроприемов на засоренность посевов люцерны в условиях степной зоны Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2013. Т. 3. № 81. С. 127-131
  143. Сопрунова, В. Е., Сопрунова, О. Б., Байрамбеков, Ш. Б., Полякова, Е. В. Изучение влияния биопрепарата на основе *Bacillus atrophaeus* на урожайность картофеля // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». - 2020. - С. 86–95
  144. Степанов А.Ф., Александрова С.Н., Храмов С.Ю. Азотфиксирующая способность и урожайность многолетних бобовых трав в подтаежной зоне Западной Сибири // Вестник ОмГАУ. 2019. №1 (33).
  145. Сырчина Н. В., Кутявина Т. И., Комоско Г. В. и др. Перспективы использования фосфатмобилизующих бактерий на щелочных засоленных почвах // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 15 ноября 2023 года. Киров: Вятский государственный университет, 2023. С. 186-190.
  146. Торики В.Е., Байдакова Е.В., Капошко Н.А. Проблема распределения гидрометеорологических факторов и их влияние на режим орошения и урожайность // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2020. №1 (77). С. 27 -32.
  147. Умарова А. Б., Иванова Т. В., Кирдяшкин П. И. Гравитационный поток влаги и его роль в эволюции почв: прямые лизиметрические исследования // Вестник ОГУ. 2006. №6-2. С.102-109.
  148. Умедова У., Муродуллаева Ш. Разработка технологии и техники для улучшения мелиоративного состояния засоленных почв // Инновационные исследования в науке. 2022. Т. 1. № 14. С. 101-115
  149. Устемирова А. М., Мамонов А. Г., Кайсанова Г. Б., Отаралиев К. Применение агро-мелиоративных технологий на засоленных почвах Южно-Казахстанской области (на примере крестьянского хозяйства «Кенжегара») // Почвоведение и агрохимия. 2017. № 4. С. 38-47
  150. Федотова А. В., Умарова А. Б., Шваров А. П. и др. Динамика физических свойств почв и запасов гумуса в засоленных почвах в условиях опустынивания // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. № 115. С. 107-128

151. Федюшкин А. В., Парамонов Александр Владимирович, Пасько Сергей Валентинович, Медведева Валентина Ивановна Продуктивность люцерны в зависимости от способа обработки почвы и удобрения покровной культуры // Известия ОГАУ. 2018. №3 (71).
152. Хадиева Г. Ф., Лутфуллин М. Т., Марданова А. М. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* как альтернатива использованию химических препаратов в сельском хозяйстве // Наука и инновации в технических университетах: Материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 2016. С. 90-92.
153. Хажиев М. Х., Алляров Т. А., Мирнигматов Ш. Б. О. и др. Обоснование параметров палоделателя для промывки засоленных и солончаковых почв // Интернаука. 2021. № 24-2. С. 26-31
154. Халилова Э. А., Аливердиева Д. А., Котенко С. Ц. и др. Биоразнообразие микробных сообществ геотермальных вод и засоленных почв в регионах Прикаспийской низменности (Республика Дагестан) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 5-1. С. 99-105
155. Хамраева Н. Т., Маматкулов И. А. Биоремедиация пустынных земель с использованием ксилотермофитных растений // Теория и практика современной науки. 2019. № 3 (45). С. 331-334
156. Хасанова Р. Ф., Суюндуков Я. Т., Семенова И. Н. Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2017. № 1. С. 103-108
157. Хасанова Р. Ф., Суюндуков Я. Т., Семенова И. Н. Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2017. № 1. С. 103-108
158. Ходжимуродова Н. Р., Хакимова Н. Х., Тагаева М. В. и др. Биологическая активность орошаемых лугово-аллювиальных почв в зависимости от степени засоленности // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 27-31
159. Худойназаров И. А., Нормахаматов Н. С., Широкова Ю. И., Филатова А. В., Тураев А. С., Мамасолиева М. А. Исследование промывки засоленных почв с использованием полимерной композиции 'Биосолвент' // Universum: химия и биология. 2018. № 6 (48). С. 26-32
160. Хлюстов В.К., Исмаил Х. Биологическая мелиорация засоленных почв Сирии. Монография / В.К. Хлюстов, Хеба Исмаил// – М.: Изд.-во РГАУ -МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. - 280 с., библиограф. 283 назв.
161. Человечкова А. В. Основная гидрофизическая характеристика почв //

- Вестник Курганской ГСХА. 2012. №2. С.41- 44.
162. Чудинова, Л. А. Физиология устойчивости растений: учеб. пособие к спецкурсу / Л. А. Чудинова, Н. В. Орлова. - Пермь: Перм. ун-т, 2006. - 124 с.
  163. Шамсутдинов З.Ш., Савченко И.В., Шамсутдинов Н.З. Биотическая мелиорация деградированных агроландшафтов в контексте учения о биосфере // Проблемы мелиорации и орошаемого земледелия юга России. / РАСХН. – М., 2001. – С.233-240.
  164. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Исаева С. Д. Комплексные мелиорации в борьбе с опустыниванием и деградацией земель // Научно-агрономический журнал. 2023. № 4 (123). С. 22-29
  165. Шеримбетов В. Х., Мазиров М. А., Гафурова Л. А. Особенности гранулометрического состава и агрохимических свойств засоленных почв Джизакской степи // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Иваново: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Верхневолжский федеральный аграрный научный центр", 2020. С. 93-97.
  166. Широкова Ю. И., Палуашова Г. К., Садиев Ф. Ф., Кодиров Д. Т. Экономическая и экологическая оценка эффективности промывки засоленных почв при различных технологиях // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 7-17
  167. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России, Ойкумена Смоленск, 2004, 241-257.
  168. Эркаев А. У., Тоиров З. К., Закиров Б. С. и др. Исследование процесса закрепления засоленных почв // Universum: химия и биология. 2018. № 9 (51). С. 31-35
  169. Юкин Н. А., Цупиков М. Т. Авторское свидетельство № 2607833, Госкомитета СССР по делам изобретений и открытий «Способ получения химико-мелиоративного средства» за 15 февраля 1989г.
  170. Якименко, В. Н. Зависимость урожайности и качества картофеля от уровня калийного питания // Плодородие. - 2017. - № 4 (97)
  171. Якимов О. В., Голубенко М. И. Способ промывки засоленных земель // RU 2568126 С1. № 2014135071/13; Заявлено 25-08-2014. Опубликовано 09-11-2015.
  172. Якутин М. В., Андриевский В. С. Почвенно-биологические методы в экологическом мониторинге засоленных почв в зоне сухих степей Тывы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 4. № 2. С. 208-212
  173. Bouma, J. (2001). The new role of soil science in a network society. Soil Science Society of America Journal, 65(5), 1381-1387.
  174. Abro, S. A., Adnan, M., Ahmed, N., Ali, M., Ali, H., Khan, J., Tunio, S., Liakat, S., Abro, A. A., & Parveen, S. Potassium fertilizer influences growth traits and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline regime.

- Journal of Plant and Environment, 2022, 4(1), 33-38.  
<https://doi.org/10.33687/jpe.004.01.4184>
175. Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>  
Agroklass. com Всё для тружеников полей, ну и ферм тоже.  
[https://agroklass.com/vyrashhivanieyucerny.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://agroklass.com/vyrashhivanieyucerny.html?utm_source=chatgpt.com)
176. Ali, H. A. The usage of different fertilizer types in same soil characterization improvements in Tikrit. *Tikrit Journal of Pure Science*, 2023, 20(3), 5-11. <https://doi.org/10.25130/tjps.v20i3.1180>
177. Ali, M., Petropoulos, S. A., Selim, D. A. F. H., Elbagory, M., Othman, M., Omara, A. E., & Mohamed, M. H. Plant growth, yield and quality of potato crop in relation to potassium fertilization. *Agronomy*, 2021, 11(675), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040675>
178. Anil Kumar, S., Kaniganti, S., Hima Kumari, P., Sudhakar Reddy, P., Suravajhala, P., Suprasanna, P., & Kavi Kishor, P. B. Functional and biotechnological cues of potassium homeostasis for stress tolerance and plant development. *Biotechnology & Genetic Engineering Reviews*, 2022, 39(1), 1-44. <https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2143317>
179. Azzawi, W. A., Gill, M. B., Fatehi, F., Zhou, M., Acuna, T., Shabala, L., Yu, M., & Shabala, S. Effects of potassium availability on growth and development of barley cultivars. *Agronomy*, 2021, 11(2269). <https://doi.org/10.3390/agronomy11112269>
180. Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
181. Bakker, P. A. H. M., Doornbos, R. F., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., & Pieterse, C. M. J. (2013). Induced systemic resistance and the rhizosphere micro10. Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473> biome. *Plant Pathology Journal*, 29(2), 136-143. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.02.2013.0021>
182. Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—A critical assessment. *Advances in Agronomy*, 108, 77-136. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)
183. Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., & Davis, J. G. Managing

- sodic soils. Colorado State University Extension. 2014. <https://www.yumpu.com/en/document/view/26357071/managing-sodic-soils-colorado-state>
184. Ben-Laouane, R.; Ait-El-Mokhtar, M.; Anli, M.; Boutasknit, A.; Rahou, Y.A.; Raklami, A.; Oufdou, K.; Wahbi, S.; Meddich, A. Green Compost Combined with Mycorrhizae and Rhizobia: A Strategy for Improving Alfalfa Growth and Yield Under Field Conditions. *Gesunde Pflanz.* 2021, 73, 193–207.
  185. Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. J., & Bakker, P. A. H. M. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478-486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>
  186. Bhatt, M. K., Labanya, R., & Joshi, H. C. Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility - A review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 2019, 7(5), 177-188. <https://doi.org/10.13189/ujar.2019.070502>
  187. Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
  188. Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112(2-3), 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
  189. Cakmak, I. Magnesium in crop production, food quality, and human health. *Plant and Soil*, 2013, 368(1-2), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1781-2>
  190. Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
  191. Cheeseman, J. M. (2016). Food security in the face of salinity, drought, climate change, and population growth. *Agronomy*, 6(4), 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy6040054>
  192. Chuykov, V., Teberdiev, D. M., Rodionova, A., Leonidova, T. V., & Zapivalov, S. Aftereffect of lime and mineral fertilizers on soil fertility and consumption nutrients of plants during haymaking use. *Адаптивное кормопроизводство*, 2022, 49-60. <https://doi.org/10.33814/afp-2222-5366-2022-2-49-60>
  193. Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005) Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 11-43. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>
  194. Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A. G., Kourgialas, N. N., Varouchakis, E. A., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment*,



- 573, 727-739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
195. Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T., Gallardo, A., Bowker, M. A., Wallenstein, M. D., Quero, J. L., & Ochoa, V. (2013). Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature*, 502(7473), 672-676. <https://doi.org/10.1038/nature12670>
  196. D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51, 326-344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>
  197. Egamberdieva, D., Wirth, S. J., Alqarawi, A. A., Abd\_Allah, E. F., & Hashem, A. (2017). Phytohormones and beneficial microbes: Essential components for plants to balance stress and fitness. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2104. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02104>
  198. Falkenmark, M., & Rockström, J. (2006). The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129-132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2006\)132:3\(129\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3(129))
  199. Fan, W., Dong, J., Die, Y., Chang, C., Yun, Q. Lv, M., Lu, Q., Liu, Y. (2023). Alfalfa Plant Age (3 to 8 Years) Affects Soil Physicochemical Properties and Rhizosphere Microbial Communities in Saline–Alkaline Soil. *Агрономы*. 13. 2977.
  200. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis, and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 937-945. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0296-9>
  201. Ferreira, L. de S., Oliveira, V. de S., Marchiori, J. J. de P., Ferreira, T. C., Bernabé, A., Boone, G. T. F., Pereira, L. L. dos S., & Carriço, E. The nutrient magnesium in soil and plant: A review. *International Journal of Plant and Soil Science*. 2023. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i82890>
  202. Fierer, N., & Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(3), 626-631. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507535103>
  203. Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945-963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
  204. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
  205. Freire, M. H. C., de Sousa, G. G., de Araújo Viana, T. V., Lessa, C. I. N., & Costa, F. H. R. Soil chemical attributes under combinations of organic fertilizing and water salinity. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2023, 53, e75156. <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5375156>
  206. Gao, C., Zhao, Q., & Jiang, L. Vacuoles protect plants from high

- magnesium stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(10), 2931-2932. <https://doi.org/10.1073/pnas.1501318112>
207. Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2004). Dynamic causal patterns of desertification. *Bioscience*, 54(9), 817-829. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:DCPOD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:DCPOD]2.0.CO;2)
  208. Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
  209. Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00149-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00149-7)
  210. Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
  211. Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. Effect of soil supplementation with mineral-organic mixtures on the amount of maize biomass and the mobility of trace elements in soil. *Soil & Tillage Research*, 2023, 223, 105558. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105558>
  212. Gong, X. J., Qin, L., Liu, F., Liu, D. N., Ma, W. W., Zhang, T., Liu, X., & Luo, F. (). Effects of organic manure on soil nutrient content: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020,31(4), 1403-1416. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202004.025>
  213. Gupta, M., Srivastava, P., Singh, S. B., Singh, N., & Tewari, S. K. Organic amendments with plant-growth-promoting fungi support paddy cultivation in sodic soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2015, 46, 2332-2341. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1081698>
  214. Hammouda, I. A., El-Howeity, M. A., & El-Meselawe, A. E. Effect of bioorganic additives on calcium solubility from rock phosphate under sandy and clayey soils conditions. *Menoufia Journal of Soil and Sediment Sciences*, 2017, 2(6), 261-275. <https://doi.org/10.21608/mjss.2017.176528>
  215. Hanc, A., Tlustoš, P., Száková, J., & Balík, J. The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. *Plant, Soil and Environment*, 2008, 54(6), 247-254. <https://doi.org/10.17221/2786-PSE>
  216. Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2004). Impacts of changing precipitation patterns on water quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 51-58.
  217. Hatfield, J. L., Sauer, T. J., & Prueger, J. H. (2001). Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agronomy Journal*, 93(2), 271-280. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.932271x>

218. Herrick, J. E., Van Zee, J. W., Havstad, K. M., Burkett, L. M., & Whitford, W. G. (2005). Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems. Volume I: Quick start. Las Cruces, NM: USDA-ARS Jornada Experimental Range.
219. Homae, M., Dirksen, C., & Feddes, R. A. (2002). Simulation of root water uptake I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57(2), 89-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00049-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00049-1)
220. Huang, Y., & Redmann, R. E. (1995). Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(4), 815-819. <https://doi.org/10.4141/cjps95-137>
221. Jansson, J. K., & Prosser, J. I. (2013). Microbiology: The life beneath our feet. *Nature*, 494(7435), 40-41. <https://doi.org/10.1038/494040a>
222. Kang, S. M., Radhakrishnan, R., You, Y. H., & Lee, I. J. (2015). Beneficial bacterial and fungal endophytes: The potential for biostimulant activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 86, 3-19. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.10.021>
223. Kattan, Z. and Najjar, H. (2004). Groundwater salinity in the Khabour-Euphrates down-streams valleys. *Journal of Cartagena*, 580p.
224. Khan, N., Bano, A., Rahman, M. A., Guo, J., Kang, Z., & Babar, M. A. (2019). Comparative physiological and metabolic analysis reveals a complex mechanism involved in drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 168, 103857. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103857>
225. Kumar, S., Kaniganti, S., Hima Kumari, P., Reddy, P. S., Suravajhala, P., Suprasanna, P., & Kavi Kishor, P. B. (2022). Functional and biotechnological cues of potassium homeostasis for stress tolerance and plant development. *Biotechnology & Genetic Engineering Reviews*, 39(1), 1-44. <https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2143317>
226. Kuslu, Y.; Shahin, U.; Tunc, T.; Kiziloglu, F.M. Determining Water-Yield Relationship, Water Use Efficiency, Seasonal Crop and Pan Coefficient for Alfalfa in a Semiarid Region with High Altitude. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2010, 16, 482–492.
227. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
228. Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
229. Läuchli, A., & Lüttge, U. (2002) *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Springer. <https://doi.org/10.1007/0-306-48>

230. Leiva Soto, A., Culman, S. W., Herms, C., Sprunger, C., & Doohan, D. (). Managing soil acidity vs. soil cation: What is more important for crop productivity? *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 2022, 8(1), 51-59. <https://doi.org/10.1002/cft2.20210>
231. Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D. L., Corwin, D. L., & Oster, J. D. (2011) Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural Water Management*, 98(4), 502-506. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.009>
232. Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
233. Mapelli, F., Marasco, R., Rolli, E., Barbato, M., Cherif, A., Guesmi, A., & Daffonchio, D. (2013). Potential for plant growth promotion of rhizobacteria associated with *Salicornia* growing in Tunisian hypersaline soils. *BioMed Research International*, 2013, 248078. <https://doi.org/10.1155/2013/248078>
234. Morozova, L. S. (2022). The role of magnesium ions for the growth and development of tomatoes when growing in protected soil conditions. *Balanced Nature Using*, 4, 112-118. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275039>
235. Munns, R., & Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
236. Nand, M. M., Singh, S. P., Kishor, K., Kumar, A., Alam, M. M., & Kumar, V. Impact of split application of potassium on inbred and hybrid rice yield and its attributes in calcareous soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, 9(3), 3279-3286. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.376>
237. Nascente, A. S., & Cobucci, T. Soil phosphorus availability and dry bean yield as affected by the application of liquid calcium carbonate micron particles on the furrow. *African Journal of Agricultural Research*, 2015, 10(15), 1840-1851. <https://doi.org/10.5897/ajar2014.8694>
238. Nikolaou, C. N., Chatziartemiou, A., Tsiknia, M., Karyda, A. G., Ehaliotis, C., & Gasparatos, D. Calcium- and magnesium-enriched organic fertilizer and plant growth-promoting rhizobacteria affect soil nutrient availability, plant nutrient uptake, and secondary metabolite production in *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) grown under field conditions. *Agronomy*, 2023, 13(2), 482. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020482>
239. Oren, A. (2008). Microbial life at high salt concentrations: Phylogenetic and metabolic diversity. *Saline Systems*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1746-1448-4-2>
240. Oster, J. D., & Jayawardane, N. S. (1998) Agricultural management of sodic soils. *FAO Irrigation and Drainage Papers*, 4, 1-70.

- <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107741>
241. Pagliai, M., & Vignozzi, N. (2002). Soil pore system as an indicator of soil quality. *Advances in GeoEcology*, 35, 69-80.
  242. Passioura, J. B. (2006). Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.012>
  243. Pathariya, P., Dwivedi, B. S., Dwivedi, A. K., Thakur, R., Singh, M., & Sarvade, S. Potassium balance under soybean–wheat cropping system in a 44-year-old long-term fertilizer experiment on a Vertisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2021, 53(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1984516>
  244. Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., and Rates, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4–20.
  245. Pető, J., Hüvely, A., Vojnich, V. J., & Cserni, I. Investigation of the relationship between soil organic matter and magnesium content. *Gradus*, 2020, 7(1), 53-56. <https://doi.org/10.478>
  246. Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
  247. Qadir, M., Quillérrou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... & Schubert, S. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282-295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
  248. Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2001). Amelioration strategies for sodic soils: A review. *Land Degradation & Development*, 12(4), 357-386. <https://doi.org/10.1002/ldr.458>
  249. Rengasamy, P. (2002). Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: An overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(3), 351-361. <https://doi.org/10.1071/EA01111>
  250. Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023.
  251. Rengasamy, P. (2010) Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620. <https://doi.org/10.1071/FP09249>
  252. Rengasamy, P., Olsson, K. A. (1991) Sodicity and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 935-952. <https://doi.org/10.1071/SR9910935>
  253. Rengel, Z., Bose, J., Chen, Q., & Tripathi, B. N. Magnesium alleviates plant toxicity of aluminium and heavy metals. *Crop & Pasture Science*, 2015, 66(12), 1298–1307. <https://doi.org/10.1071/CP15284>

254. Reynolds, J. F., Stafford Smith, D. M., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Walker, B. (2007). Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, 316(5826), 847-851. <https://doi.org/10.1126/science.1131634>
255. Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, 1(5), 318-333. <https://doi.org/10.1063/1.1745010>
256. Richards, L. A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture Handbook, No. 60. <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800040031x>
257. Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845-854. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1)
258. Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003).. 454 Pyrosequencing reveals bacterial diversity of activated sludge from 14 sewage treatment plants. *ISME Journal*, 6(6), 1137-1147. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.188>
259. Ritz, K., & Young, I. M. (2004). Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, 18(2), 52-59. <https://doi.org/10.1017/S0269915X04002025>
260. Robertson, G. P., & Swinton, S. M. (2005). Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 38-46. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0038:RAPAIE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0038:RAPAIE]2.0.CO;2)
261. Rockström, J., Kaumbutho, P., Mwalley, J., Nzabi, A. W., Temesgen, M., Mawenya, L., Barron, J., Mutua, J., & Damgaard-Larsen, S. (2009). Conservation farming strategies in East and Southern Africa: Yields and rain water productivity from on-farm action research. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.09.013>
262. Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(9), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091461>
263. Sahu, A., Kishore, K., Dash, S. N., Sahoo, S. C., Nayak, R. K., & Barik, S. Calcium nutrition influencing yield and fruit quality of dragon fruit. *Indian Journal of Horticulture*, 2022, 79(3), 317-322. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2022.00043.3>
264. Sankaralingam, P., & Malarvizhi, P. Fixation of critical level of available magnesium in soils of maize growing tracts of Pudukkottai district of Tamil Nadu, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, 9(2), 3017-3020. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2020.902.346>
265. Santiago-Rosario, L. Y., Harms, K. E., Elderd, B. D., Hart, P. B., &

- Dassanayake, M. No escape: The influence of substrate sodium on plant growth and tissue sodium responses. *Ecology and Evolution*, 2021, 11(20), 14231–14249. <https://doi.org/10.1002/ECE3.8138>.
266. Scanlon, B. R., Jolly, I., Sophocleous, M., & Zhang, L. (2007). Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resources Research*, 43(3), W03437. <https://doi.org/10.1029/2006WR005486>
267. Schlesinger, W. H. (2010). On the fate of anthropogenic nitrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(1), 203-208. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810193105>
268. Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., & Thiel, H. Role of magnesium fertilizers in agriculture: Plant–soil continuum. *Crop & Pasture Science*, 2015, 66(12), 1219–1229. <https://doi.org/10.1071/CP15104>
269. Sharavdorj, K., Byambadorj, S. O., Jang, Y., & Cho, J. W. Application of magnesium and calcium sulfate on growth and physiology of forage crops under long-term salinity stress. *Plants*, 2022, 11(24), 3576. <https://doi.org/10.3390/plants11243576>
270. Shi, S.; Nan, L.; Smith, K.F. The Current Status, Problems, and Prospects of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Breeding in China. *Agronomy* 2017, 7, 1.
271. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
272. Šimanský, V., Jonczak, J., Horváthová, J., Igaz, D., Aydin, E., & Kováčik, P. Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime of sandy soils? *Soil & Tillage Research*, 2022, 215(4), 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>
273. Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., & Šejna, M. (2012). The HYDRUS software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. *Vadose Zone Journal*, 11(4), vzj2012.0046. <https://doi.org/10.2136/vzj2012.0046>
274. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., ... & Smith, J. (2007). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
275. Swift, M. J., Izac, A. M. N., & van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 113-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>
276. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

277. Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., Qin, R., Noulas, C., Sathuvalli, V., Charlton, B., & Loka, D. A. Potassium: A vital macronutrient in potato production-A review. *Agronomy*, 2021, 11(3), 543. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11030543>
278. Tripathi, B. M., Kim, M., Kim, Y., Byun, E., Yang, J. W., Ahn, J., & Lee, Y. K. (2018). Variations in bacterial and archaeal communities along depth profiles of Alaskan soil cores. *Scientific Reports*, 8(1), 504. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18844-x>
279. Turner, N. C. (2004). Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2413-2425. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh154>
280. van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
281. Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
282. Wakeel A. Potassium–sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2013, 176(3), 344–354. <https://doi.org/10.1002/JPLN.201200417>
283. Wang, R.; Liu, J.; Jiang, W.; Ji, P.; Li, Y. Metabolomics and Microbiomics Reveal Impacts of Rhizosphere Metabolites on Alfalfa Continuous Cropping. *Front. Microbiol.* 2022, 13, 833968
284. Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Van der Putten, W. H., & Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(5677), 1629-1633. <https://doi.org/10.1126/science.1094875>
285. Xu, S.; Li, P.; Sayer, E.J.; Zhang, B.; Wang, J.; Qiao, C.; Peng, Z.; Diao, L.; Chi, Y.; Liu, W.; et al. Initial soil organic matter content influences the storage and turnover of litter, root and soil carbon in grasslands. *Ecosystems* 2018, 21, 1377–1389.
286. Yakovleva, L. V., Danilov, D. A., & Nikolaeva, E. A. Effect of mineral and organic fertilizers on potassium leaching in sandy loam soils. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 828(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012032>
287. Yakovleva, L. V., Danilov, D. A., & Nikolaeva, E. A. Effect of mineral and organic fertilizers on potassium leaching in sandy loam soils. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 828(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012032>
288. Yang, J., Kloepper, J. W., & Ryu, C. M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 14(1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>
289. Yuan, B., Yue, D., & Liu, Z. (2007). Soil microbial and enzymatic activities



- across a chronosequence of vegetation restoration in the loess plateau of China. *Plant and Soil*, 306(1), 39-52. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9489-4>
290. Zhang, W.-Q., Liu, Y., Muneer, M., Jin, D., Zhang, H., Cai, Y., Ma, C.-W., Wang, C., Chen, X., Huang, C., Tang, Y., & Wu, L. (). Characterization of different magnesium fertilizers and their effect on yield and quality of soybean and pomelo. *Agronomy*, 2022, 12(11), 2693. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112693>
291. Zhou, Z.; Zhang, Y.; Zhang, F. Community assembly correlates with alfalfa production by mediating rhizosphere soil microbial community composition in different planting years and regimes. *Plant Soil* 2022, 479, 355–370.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## Климатическая характеристика 2020 г.

Показатели		Значения климатических показателей по месяцам											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Осадки	всего	18	17	14	11	6	1	0	0	0	8	15	11
Т	max	15	17	23	29	35	39	42	42	38	32	17	23
	min	3	4	8	13	18	21	24	23	20	16	5	9
	mean	9	10,5	15,5	21	26,5	30	33	32,5	29	24	11	16
U2 (м. с-1)	max	5	4,8	5,8	6,1	6,1	5,6	5,7	3,9	3,6	4,5	5,1	5,3
	min	1,52	1,83	1,38	1,66	1,66	1,32	2,09	2,31	1,91	1,55	1,53	1,69
	mean	3,26	3,315	3,95	3,88	3,88	3,46	3,895	3,105	2,755	3,025	3,315	3,495
RH%	max	73	75	50	45	35	36	31	35	39	45	50	65
	min	52	55	35	28	20	21	20	23	26	31	39	50
	mean	62,5	65	42,5	36,5	27,5	28,5	25,5	29	32,5	38	44,5	57,5
es		765	771	748	748	745	743	741	737	735	742	749	754
Rs		14,6	15	15,3	17,29	20,7	22,4	26,1	25,2	23,6	21,4	18,1	16,3
Rn		13,1	13,9	16,13	15,29	19,61	21,4	24,3	23,6	21,4	20,1	16,2	14,9
Часы солнечного сияния (n)		7,4	8,12	8,43	9,58	10,2	10,93	10,95	10,42	9,1	8,48	8,21	7,1
Среднее ежедневное количество часов светового дня (N)		10,56	11,35	11,96	13,08	14,01	14,73	14	13,1	11,98	11,54	10,35	9,96
n/N		0,7	0,72	0,7	0,73	0,72	0,74	0,78	0,8	0,76	0,76	0,79	0,71
количество часов светового дня в течение года (K)							4422						
N/K		0,0039	0,0039	0,0279	0,038	0,0039	0,0039	0,003	0,0039	0,003	0,0039	0,002	0,0029

Климатическая характеристика 2021 г.

Показатели		Значения климатических показателей по месяцам											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Осадки	всего	16	13	17	10	7	0	0	0	0	8	16	9
Т	max	13	16	19	30	37	41	40	41	39	34	19	20
	min	4	4	9	11	20	21	26	23	18	14	7	8
	mean	8,5	10	14	2,5	28,5	32	33	32	28,5	24	12,5	14
U2 (м. с-1)	max	4,9	5,6	5,2	6,4	6,1	6,6	7,9	6,5	5,4	4,5	5	5,9
	min	1,73	2,21	1,98	2,56	2,86	1,98	3,1	2,71	2	1,95	1,57	1,49
	mean	3,315	3,905	3,59	4,48	4,48	4,29	5,5	4,605	3,7	3,225	3,285	3,695
RH%	max	65	68	72	56	37	40	29	36	42	38	57	69
	min	42	56	44	26	18	23	17	24	28	31	36	55
	mean	53,5	62	58	41	27,5	31,5	23	30	35	34,5	46,5	62
es		767	773	752	747	749	742	742	735	736	741	747	751
Rs		14,5	14,99	15,21	17,39	20	22,39	26,2	25,29	22,96	21,5	18,4	16,5
Rn		13,3	13,81	15,1	15,4	19,1	21,12	24,3	23,54	21,23	20	16,1	14,82
Часы солнечного сияния (n)		7,39	8,2	8,4	9,6	10,2	10,93	10,95	10,42	9,1	8,48	8,21	7,11
Среднее ежедневное количество часов светового дня (N)		10,31	11,35	11,96	13,08	14,01	14,73	14	13,1	11,98	11,54	10,35	9,96
n/N		0,7	0,722	0,702	0,734	0,728	0,742	0,782	0,795	0,76	0,735	0,793	0,714
количество часов светового дня в течение года (K)							4422						
N/K		0,0023	0,0025	0,0027	0,0029	0,0031	0,0033	0,0031	0,0029	0,0027	0,0026	0,0023	0,0023

Климатическая характеристика 2022 г.

Показатели		Значения климатических показателей по месяцам											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Осадки	всего	23	19	16	8	4	2	0	0	0	9	17	21
Т	max	18	19	21	28	37	36	45	46	40	35	19	24
	min	6	4	6	9	15	17	21	21	25	18	4	8
	mean	12	11,5	13,5	18,5	26	26,5	33	33,5	32,5	26,5	11,5	16
U2 (м. с-1)	max	4,3	4,1	5,24	5,41	6,2	5,3	5,45	4,1	3,9	4,49	5,35	5,1
	min	1,98	2	1,47	2,1	1,82	1,98	2,1	1,71	1,65	1,51	1,83	1,9
	mean	3,14	3,05	3,355	3,755	4,01	3,64	3,775	2,905	2,775	3	3,59	3,5
RH%	max	60	71	59	52	40	32	38	40	36	49	53	75
	min	52	55	35	27	18	23	19	22	28	33	41	48
	mean	56	63	47	39,5	29	27,5	28,5	31	32	41	47	61,5
es		761	769	749	747	747	743	745	739	737	742	747	756
Rs		14,5	15,1	15,4	17,1	20,53	22,51	26,3	25,32	23,51	21,41	18,23	16,41
Rn		13,2	13,81	16,2	15,3	19,52	21,5	24,12	23,43	21,42	20	16,34	14,75
Часы солнечного сияния (n)		7,4	8,12	8,43	9,58	10,2	10,93	10,95	10,42	9,1	8,48	8,21	7,1
Среднее ежедневное количество часов светового дня (N)		10,56	11,35	11,96	13,08	14,01	14,73	14	13,1	11,98	11,54	10,35	9,96
n/N		0,7	0,72	0,7	0,73	0,72	0,74	0,78	0,8	0,76	0,76	0,79	0,71
количество часов светового дня в течение года (K)							4422						
N/K		0,0039	0,0039	0,0279	0,038	0,0039	0,0039	0,003	0,0039	0,003	0,0039	0,002	0,0029

Приложение Б

Динамика электропроводности по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (1)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат
25	8,17	7,46	6,22	5,63
30	8,13	7,43	6,28	5,76
40	7,92	7,23	6,24	5,86
50	7,62	6,96	6,10	5,84
60	7,31	6,67	5,93	5,76
70	7,00	6,39	5,75	5,65
80	6,70	6,12	5,56	5,52
90	6,42	5,87	5,37	5,39
100	6,16	5,63	5,19	5,25

Приложение В

Динамика кислотности по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (2)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + биопрепарат
25	7,90	7,30	6,80	6,50
50	7,80	7,51	7,11	6,88
75	7,71	7,65	7,55	7,49
100	7,07	7,07	7,07	7,07

Динамика концентрации солей калия ( $K^+$ ) по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (3)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост+ Биопрепарат
10	0,991	0,967	0,920	-
20	0,868	0,786	0,889	0,755
30	0,576	0,536	0,605	0,797
40	0,409	0,388	0,430	0,671
50	0,316	0,303	0,330	0,541
60	0,261	0,254	0,270	0,437
70	0,228	0,224	0,232	0,359
80	0,208	0,206	0,209	0,301
90	0,196	0,195	0,194	0,258
100	0,190	0,191	0,185	0,225

Динамика концентрации солей калия ( $Ca^{2+}$ ) по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (4)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + биопрепарат
25	10,70	10,96	11,30	14,30
50	11,32	11,39	11,70	12,61
75	11,92	11,94	11,91	11,52
100	18,24	18,24	18,24	18,24

Приложение Е

Динамика концентрации солей калия ( $Mg^{2+}$ ) по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (5)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + биопрепарат
25	4,69	4,70	4,90	5,70
50	4,59	4,62	5,00	5,09
75	5,40	5,72	5,50	5,84
100	5,94	5,94	6,10	6,38

Приложение Ж

Динамика концентрации солей калия ( $Na^+$ ) по глубине почвы под влиянием биомелиорантов по модели (6)

Нижняя граница почвенного слоя	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + биопрепарат
25	2,37	2,11	1,84	1,03
50	1,92	1,78	1,53	1,17
75	2,1	1,93	1,74	1,45
100	5,52	2,41	2,16	2,22



Динамика общей урожайности люцерны по годам выращивания под влиянием биомелиорантов по модели (7)

Год выращивания	Вариант опыта			
	Контроль	Компост	Биопрепарат	Компост + биопрепарат
Первый 2020 г.	6,4	7,2	7,2	9,1
Второй 2021 г.	6,7	7,7	7,5	9,8
Третий 2022 г.	7,1	9,3	9,3	9,4

Динамика урожайности по номерам укосов и годам выращивания люцерны под влиянием биомелиорантов по модели (9)

№ укоса	Контроль			Укос	Компост		
	Первый 2020 г.	Второй 2021 г.	Третий 2022 г.		Первый 2020 г.	Второй 2021 г.	Третий 2022 г.
1-й	1,83	1,77	1,79	1-й	2,06	2,03	2,34
2-й	1,72	1,52	1,47	2-й	1,94	1,74	1,93
3-й	1,45	1,25	1,19	3-й	1,63	1,44	1,55
4-й	1,01	0,98	0,93	4-й	1,13	1,13	1,22
5-й	0,39	0,69	0,70	5-й	0,44	0,80	0,92
6-й	-	0,40	0,50	6-й	-	0,46	0,66
7-й	-	0,09	0,33	7-й	-	0,10	0,43
8-й	-	-	0,19	8-й	-	-	0,25
<b>Итого, т/га</b>	<b>6,4</b>	<b>6,7</b>	<b>7,1</b>	<b>Итого, т/га</b>	<b>7,2</b>	<b>7,7</b>	<b>9,3</b>

Укос	Биопрепарат			Укос	Компост+Биопрепарат		
	Первый 2020 г.	Второй 2021 г.	Третий 2022 г.		Первый 2020 г.	Второй 2021 г.	Третий 2022 г.
1-й	2,06	1,98	2,34	1-й	2,06	1,98	2,34
2-й	1,94	1,70	1,93	2-й	1,94	1,70	1,93
3-й	1,63	1,40	1,55	3-й	1,63	1,40	1,55
4-й	1,13	1,10	1,22	4-й	1,13	1,10	1,22
5-й	0,44	0,78	0,92	5-й	0,44	0,78	0,92
6-й	-	0,45	0,66	6-й	-	0,45	0,66
7-й	-	0,10	0,43	7-й	-	0,10	0,43
8-й	-	-	0,25	8-й	-	-	0,25
<b>Итого, т/га</b>	<b>7,2</b>	<b>7,5</b>	<b>9,3</b>	<b>Итого, т/га</b>	<b>9,1</b>	<b>9,8</b>	<b>9,4</b>

*Научное издание*

Хлюстов Виталий Константинович

*доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

Исмаил Хеба

*аспирант*

**АГРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ  
ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ СИРИИ**

*Монография*

Издано в авторской редакции

Корректурa автора

Подписано для размещения в электронно-библиотечной системе

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева 17.01.2025 г.