

УДК 631.435:631.6

ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНЫХ ПОСЕВОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОБЪЁМНУЮ МАССУ ОРОШАЕМЫХ СВЕТЛЫХ СЕРОЗЕМОВ

¹Исаков В.Ю. ORCID ID 0009-0009-6095-1768,

²Иминчаев Р. ORCID ID 0009-0006-2720-6473

¹Кокандский государственный университет, Коканд, Узбекистан;

²Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан,

e-mail: ahmadjonovmashhurbek060@gmail.com

Устойчивое развитие сельского хозяйства неразрывно связано с поддержанием плодородия почвы, ключевым аспектом которого являются её агрофизические свойства. Плотность почвы (объёмная масса) напрямую влияет на водно-воздушный режим, активность микроорганизмов и развитие корневой системы растений, что делает её важным показателем физического состояния орошаемых земель. Целью настоящего исследования являлась комплексная оценка влияния повторных культур (маш, фасоль) и различных доз минеральных удобрений на агрофизические свойства орошаемых светлых серозёмов Южной Ферганы. Полевые опыты проводились в 2022–2024 гг. по общепринятым методикам на почвах Капчугайского адыра и межадырного понижения Ханкиз. В ходе исследования изучалась динамика объёмной массы пахотного и подпахотного горизонтов в течение вегетационного периода, данные были обработаны с использованием дисперсионного анализа. Результаты показали, что к концу эксперимента в контрольных вариантах (без удобрений) наблюдалось значительное уплотнение почвы. В то же время применение бобовых повторных культур в сочетании с минеральными удобрениями способствовало заметному снижению плотности по сравнению с контролем. Было установлено, что наиболее благоприятные агрофизические условия, с наименьшими показателями объёмной массы, зафиксированы в вариантах с внесением оптимальных доз удобрений под маш и фасоль. Таким образом, исследование подтвердило, что бобовые культуры при повторном посеве действуют как естественные мелиоранты, улучшая структуру и водно-воздушный режим почвы, а их комплексное применение с оптимальными дозами удобрений является эффективным агроприёмом для повышения физического плодородия.

Ключевые слова: почва, объёмная масса, агрофизические свойства, повторные культуры, маш, минеральные удобрения, фасоль, Ферганская долина

EFFECT OF RELAY CROPPING AND MINERAL FERTILIZERS ON THE BULK DENSITY OF IRRIGATED LIGHT SEROZEMS

¹Isakov V.Yu. ORCID ID 0009-0009-6095-1768,

²Iminchaev R. ORCID ID 0009-0006-2720-6473

¹Kokand State University, Kokand, Uzbekistan

²Fergana State University, Fergana, Uzbekistan,

e-mail: ahmadjonovmashhurbek060@gmail.com

Sustainable agricultural development is inextricably linked to maintaining soil fertility, a key aspect of which is its agrophysical properties. Soil density (bulk density) directly affects the water-air regime, microbial activity, and plant root system development, making it a critical indicator of the physical condition of irrigated lands. This study provides a comprehensive assessment of the impact of relay crops (mung bean, common bean) and different rates of mineral fertilizers on the agrophysical properties of irrigated light serozems in Southern Fergana. Field experiments were conducted from 2022–2024 using standard methodologies on the soils of the Kapchugay adyr and the Khankiz inter-adyr depression. The dynamics of bulk density in the plough and sub-plough horizons during the vegetation period were studied, and the data were analyzed using analysis of variance. The results showed that by the end of the experiment, significant soil compaction was observed in the control treatments (without fertilizers). In contrast, the application of leguminous relay crops combined with mineral fertilizers contributed to a noticeable reduction in density compared to the control. The most favorable agrophysical conditions, with the lowest bulk density values, were recorded in the treatments with the application of optimal fertilizer rates for mung bean and common bean. Thus, the study confirmed that leguminous crops used in relay sowing act as natural ameliorants, improving soil structure and the water-air regime, and their combined use with optimal fertilizer rates is an effective agro-practice for enhancing physical soil fertility.

Keywords: soil, bulk density, agrophysical properties, relay crops, mung bean, common bean, mineral fertilizers, Fergana Valley

Введение

Плодородие почвы является важнейшим условием устойчивого развития сельского хозяйства. Среди многочисленных показателей плодородия особое место занимают её агрофизические свойства: механический состав, структурность, плотность (объём-

ная масса), порозность, водопроницаемость и влагоёмкость. Оптимальные водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы обеспечивают интенсивное развитие корневой системы растений, благоприятный обмен веществ и активизацию микробиологических процессов. Многочисленные ис-

следования показывают, что при достаточном содержании влаги, воздуха и питательных веществ в пахотном слое создаются оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, что положительно отражается на физических свойствах почвы.

Южная часть Ферганской долины, на границах Узбекистана, состоит из горных и предгорных равнин: предадырной равнины, двух рядов цепочечных адирных гряд, тянувшихся с запада на восток, и межадырных и заадырных долинообразных понижений. Общие сведения о почвенном покрове этого региона были получены в ходе генетико-географических исследований, проведенных в 20-30-х годах прошлого века. Эти сведения зафиксированы в трудах М.А. Панкова, Б.В. Горбунова, А.Н. Розанова и других исследователей. В результате почвенных обследований, проведенных институтом «Узгипрозем» в 60-х годах, были составлены почвенные карты административных областей долины. Гипсоносные почвы занимают большое место в почвенном покрове Южной Ферганы. В 80-х годах изучались агрофизические, агрохимические и другие свойства гипсоносных почв с целью их освоения и эффективного использования в сельском хозяйстве [1]. Плотность гипсоносных почв варьируется в зависимости от формы и размера кристаллов гипса, а также от текстуры.

В последние десятилетия, наряду с традиционными свойствами почв [2], особое внимание уделяется изучению геохимических и биогеохимических свойств. Основное внимание в научных исследованиях М.И. Исагалиева [3] уделяется изучению миграции и аккумуляции химических

элементов, особенно тяжелых металлов и микроэлементов. Кроме того, детально изучаются биогеохимические процессы в почвах, формируемых в высотных зонах Южной Ферганы, и произрастающие в них лекарственные растения. Важный вклад в изучение почв региона внесли исследования Г.Т. Сотиболдиевой [4] по кольматированным почвам, Х.А. Абдухакимовой [5] по орошающим сероземам и З.Ж. Исомидинова и др. [6] по системе «серо-бурые почвы – *Allium* сера L. (лук)».

Из этого краткого обзора литературы по изучению почв Южной Ферганы известно, что отдельных исследований их агрофизических свойств, а также системы «почва – растение – удобрение» не проводилось.

Плотность почвы оказывает прямое влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Согласно данным ряда авторов, для таких культур, как маш и белая фасоль, оптимальной является объемная масса в пределах 1,1–1,3 г/см³. При таких условиях обеспечивается достаточный газообмен, активность микроорганизмов и усвоение питательных веществ. В тяжелых суглинистых почвах чрезмерное уплотнение затрудняет развитие растений, в то время как агротехнические мероприятия способны регулировать плотность и улучшать физическое плодородие почв [7–9].

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния повторных культур, в частности маша и фасоли, а также различных норм минеральных удобрений на агрофизические свойства орошаемых светлых сероземов Южной Ферганы, в том числе на изменение их объемной массы.

Таблица 1

Варианты опыта и нормы внесения минеральных удобрений

№	Варианты	Нормы удобрения, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Контроль N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
2	Маш N ₀ P ₆₀ K ₄₀	0	60	40
3	Маш N ₂₀ P ₈₀ K ₆₀	20	80	60
4	Маш N ₂₀ P ₄₀ K ₂₀	20	40	20
5	Маш N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	40	60	40
6	Фасоль N ₀ P ₆₀ K ₄₀	0	60	40
7	Фасоль N ₂₀ P ₈₀ K ₆₀	20	80	60
8	Фасоль N ₂₀ P ₄₀ K ₂₀	20	40	20
9	Фасоль N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	40	60	40

Примечание: составлено авторами.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в условиях орошаемого земледелия Ферганской долины в 2022–2024 гг. Объектом изучения послужили орошающие светлые серозёмы среднесуглинистого гранулометрического состава, приуроченные к Капчугайскому адыру и межадырному понижению Ханкиз.

Все наблюдения, анализы и расчёты выполнялись по общепринятым методикам: «Методы исследования физических свойств почв» [10] и «Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований» [11]. Определялись следующие показатели: объёмная масса почвы в слоях 0–10, 10–20, 20–30 и 30–50 см, а также её динамика в начале и конце вегетационного периода.

Опыты закладывались по методу рандомизированных блоков (РКБ) в 4-кратной повторности. Учёт и анализ проводились три года подряд. В опыте предусматривались варианты, представленные в таблице 1.

Экспериментальные данные были подвергнуты дисперсионному анализу (ANOVA) для оценки достоверности различий между вариантами опытов. Проверка значимости различий проводилась при уровне $p < 0.05$ и $p < 0.01$. Для выделения однородных групп использовался критерий Дункана [12], который позволяет оценить относительные различия между вариантами при малых отклонениях средних значений. Все расчёты выполнялись в программной среде R (пакет agricolae, версия 1.3-3) и Microsoft Excel 2021.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные были подвергнуты дисперсионному анализу (ANOVA) для оценки статистической значимости различий между вариантами опытов.

Данные о влиянии повторных культур и доз NPK на объёмную массу почвы представлены в таблице 2.

Дисперсионная оценка показала, что в начале опыта различия между вариантами по объёмной массе почвы в слоях 0–30 и 30–50 см статистически недостоверны ($p > 0.05$). Это указывает на однородное физическое состояние почвы до закладки опыта. К концу опыта наблюдались существенные различия между вариантами как в пахотном (0–30 см), так и в подпахотном (30–50 см) слоях ($p < 0.01$).

Наиболее низкие значения объёмной массы отмечены в вариантах с посевом маша и фасоли при умеренных дозах мине-

ральных удобрений ($N_{20}P_{40}K_{20}$ – $N_{40}P_{60}K_{40}$), где плотность почвы увеличилась с 1,26–1,27 г/см³ в начале эксперимента до 1,31–1,32 г/см³. Наибольшая плотность характерна для контрольного варианта без удобрений ($N_0P_0K_0$ – 1,45 г/см³). В вариантах с повторным посевом этот рост был медленнее и плотность оказалась на 0,02–0,06 г/см³ ниже, чем в контрольном варианте. Значительное уплотнение в контроле можно объяснить отсутствием поступления свежего органического вещества и естественным уплотняющим воздействием оросительной воды и агротехники. В свою очередь, корневая система бобовых культур действовала как биологический разрыхлитель, создавая сеть мелких каналов и пор. После завершения вегетации и разложения корней эти поры сохраняются, улучшая общую аэрацию и водопроницаемость пахотного слоя. Таким образом, формируются более устойчивые почвенные агрегаты, противостоящие уплотнению.

Это свидетельствует о благоприятном воздействии бобовых культур на структурное состояние орошаемых светлых серозёмов.

В начале эксперимента все варианты находились практически в одной группе (разницы в плотности не было).

В конце эксперимента наблюдалось снижение плотности в вариантах с машем и фасолью по сравнению с контролем, особенно в вариантах $N_{20}P_{40}K_{20}$ и $N_{40}P_{60}K_{40}$.

Плотность увеличилась до максимального уровня в контрольном варианте и в вариантах с машем и фасолью $N_0P_0K_0$.

Согласно результатам теста Дункана, варианты можно разделить на статистические группы (рис.).

На диаграмме анализа ANOVA + Дункана:

- черные линии – планки погрешностей (стандартная ошибка);
- буквы над планками – группы в тесте Дункана.

К группе «а» относятся самые рыхлые почвы (маш $N_{20}P_{40}K_{20}$, фасоль $N_{40}P_{60}K_{40}$), тогда как контрольный вариант формирует отдельную группу «i» с наибольшей плотностью. Такое распределение указывает на тенденцию снижения плотности при увеличении доли биомассы корней и поступлении органических остатков.

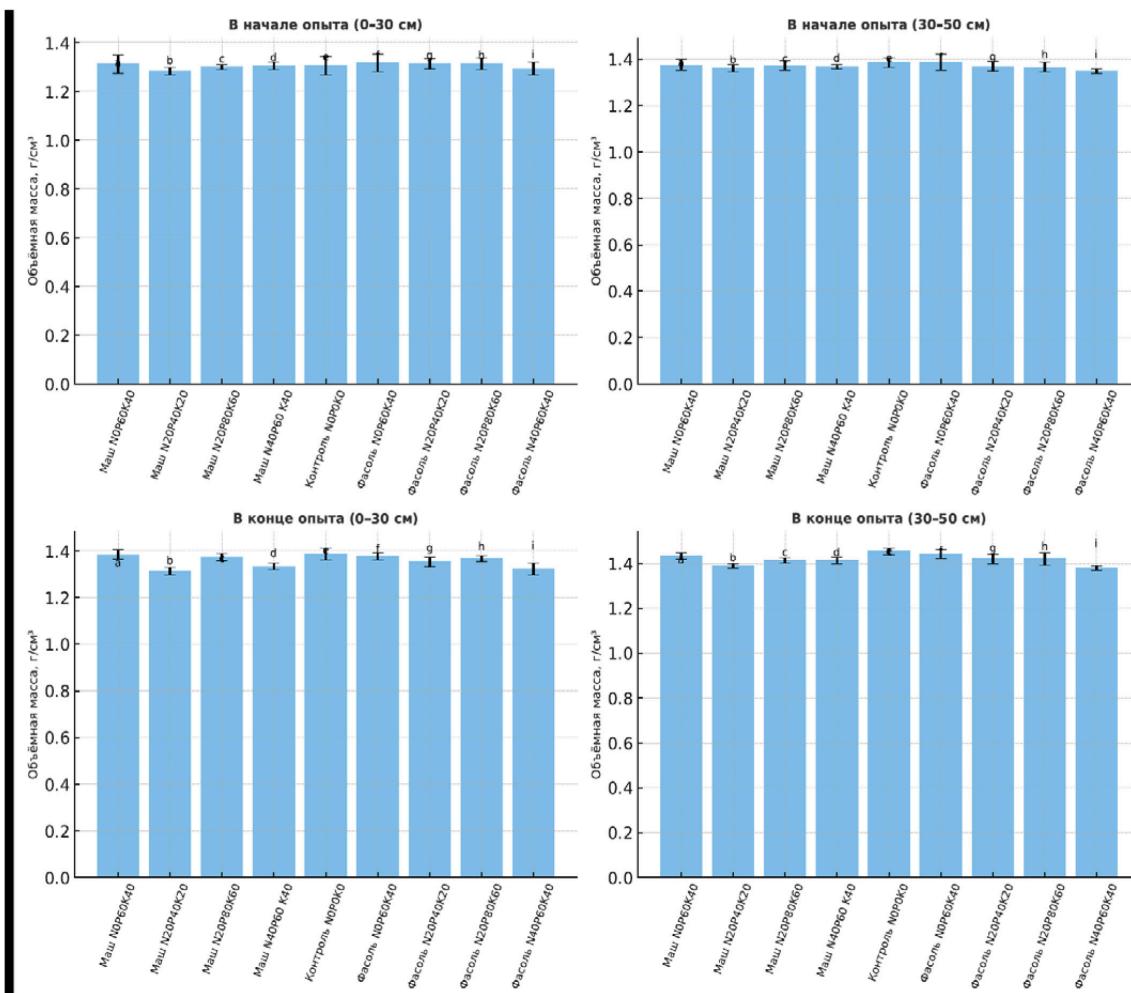
Анализ данных, полученных авторами, а также другими исследователями, показывает, что бобовые культуры улучшают структуру почвы, снижают её плотность, увеличивают содержание органических веществ и азота. Также они повышают водоудерживающую способность за счет увеличения азотфиксации и биомассы.

Таблица 2

Влияние повторных культур и доз НРК на объёмную массу почвы (г/см³), среднее за 2022–2024 гг.

№	Варианты	В начале опыта				Средние				В конце опыта				Средние	
		2022	2023	2024	Средние	2022	2023	2024	Средние	2022	2023	2024	Средние		
1	Контроль N ₀ P ₀ K ₀	1,28	1,37	1,35	1,41	1,29	1,38	1,31	1,38	1,36	1,44	1,41	1,47	1,39	1,45
2	Маш N ₀ P ₆₀ K ₄₀	1,27	1,38	1,34	1,40	1,33	1,35	1,31	1,38	1,39	1,42	1,40	1,45	1,36	1,43
3	Маш N ₂₀ P ₈₀ K ₆₀	1,29	1,35	1,30	1,39	1,31	1,38	1,30	1,38	1,37	1,42	1,36	1,40	1,39	1,42
4	Маш N ₂₀ P ₄₀ K ₂₀	1,27	1,35	1,30	1,36	1,28	1,38	1,28	1,36	1,31	1,39	1,33	1,40	1,30	1,37
5	Маш N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	1,29	1,38	1,32	1,36	1,30	1,37	1,30	1,37	1,32	1,40	1,33	1,43	1,35	1,41
6	Фасоль N ₀ P ₆₀ K ₄₀	1,32	1,42	1,28	1,35	1,35	1,39	1,32	1,39	1,38	1,46	1,36	1,42	1,39	1,44
7	Фасоль N ₂₀ P ₈₀ K ₆₀	1,29	1,36	1,31	1,39	1,34	1,35	1,31	1,37	1,36	1,45	1,36	1,40	1,38	1,41
8	Фасоль N ₂₀ P ₄₀ K ₂₀	1,32	1,39	1,29	1,35	1,33	1,37	1,30	1,37	1,36	1,42	1,33	1,40	1,37	1,42
9	Фасоль N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	1,27	1,34	1,29	1,36	1,32	1,35	1,29	1,35	1,32	1,38	1,30	1,37	1,35	1,38

Примечание: составлено авторами.



Изменение объёмной массы почвы (Δ) под посевами фасоли и маши при разных дозах минеральных удобрений (0-30 и 30-50 см, средние за 2022–2024 гг.)

Источник: составлено авторами

Анализ полученных данных показал, что плотность почвы изменялась в зависимости от дозы удобрений и вида бобовой культуры. Для фасоли наименьшие изменения отмечены в варианте N₄₀P₆₀K₄₀, что свидетельствует о сохранении оптимальной структуры. В вариантах с машем чётко проявилось влияние доз удобрений: повышенные нормы фосфора и калия (N₂₀P₈₀K₆₀) вызывали увеличение плотности, тогда как умеренные дозы (N₂₀P₄₀K₂₀) способствовали её стабилизации. Такая тенденция, вероятно, связана с более активной корневой системой маша, что согласуется с результатами других исследований [7; 13].

Выращивание маша и фасоли в качестве повторной культуры в сочетании с рациональным применением минеральных удобрений способствует снижению объемной массы почвы на 0,02–0,06 г/см³ по сравнению с контролем. Это свидетельствует

о формировании более благоприятной порозности и улучшении водно-воздушного режима. Сходные данные приводят Blanco-Canqui & Ruis [7], которые отмечают, что использование покровных культур способствует уменьшению плотности почвы. Koudahe et al. [14] в своём обзоре также подчёркивают, что бобовые культуры улучшают водопроницаемость почв. В условиях длительных экспериментов De Notaris et al. [15] показали, что покровные культуры и севообороты способны значительно улучшать качество почвы. Полученные авторами данные подтверждают эти выводы и дополняются результатами по орошаемым светлым серозёмам Южной Ферганы.

В проведенном опыте снижение плотности почвы проявилось при дозах N₄₀P₆₀K₄₀ и N₂₀P₄₀K₂₀, что также подтверждается работами Zamukulu et al. и Baza et al. [13, 16]. Таким образом, результаты исследования

согласуются с глобальными метаанализами о положительном влиянии покровных культур на физическое плодородие почв, но расширяют их применительно к специфическим условиям Средней Азии. Получена комплексная оценка влияния повторных культур и различных доз удобрений на динамику объёмной массы почв в условиях орошаемых светлых серозёмов южной части Ферганской долины.

Заключение

Комплексная оценка влияния повторных культур и различных доз удобрений на динамику объёмной массы почв в условиях орошаемых светлых серозёмов южной части Ферганской долины показала, что выращивание маша и фасоли способствует улучшению агрофизических свойств почвы.

1. Маш оказывает более выраженное влияние на физическое состояние почвы по сравнению с фасолью, что связано с особенностями его корневой системы и агротехники.

2. Оптимальными комбинациями для поддержания плотности почвы в пределах агрономической нормы (1,31–1,32 г/см³) являются внесение N₄₀P₆₀K₄₀ под фасоль и N₂₀P₄₀K₂₀ под маш.

3. Внедрение бобовых повторных культур в сочетании с оптимизированными дозами минеральных удобрений является эффективным агроприёмом для сохранения и повышения физического плодородия почв региона.

Список литературы

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.