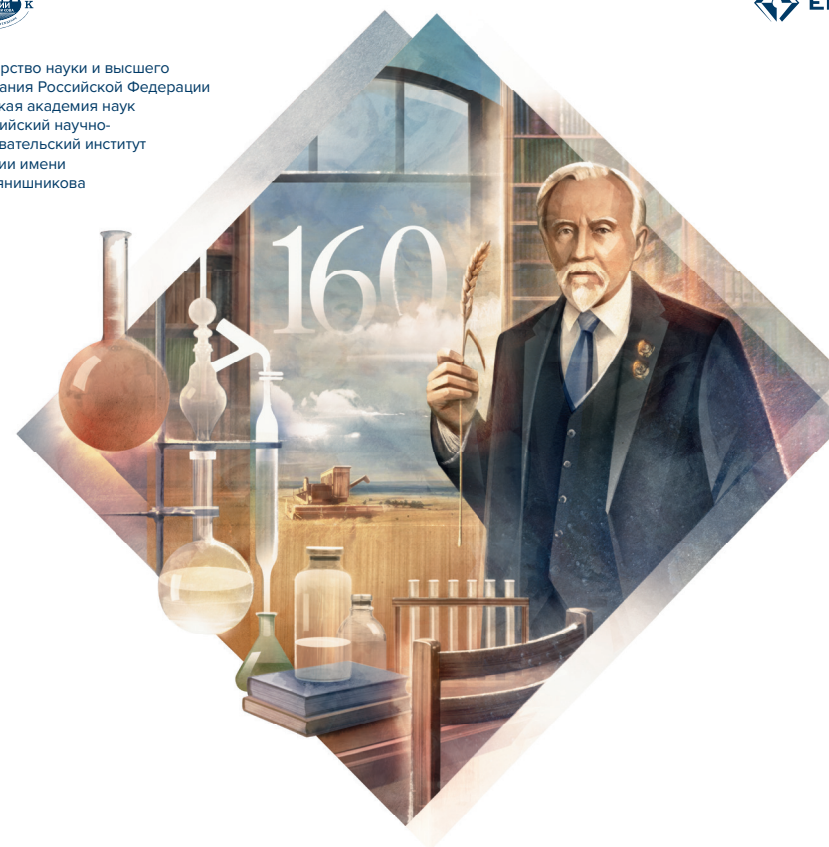


Министерство науки и высшего
образования Российской Федерации
Российская академия наук
Всероссийский научно-
исследовательский институт
агрохимии имени
Д. Н. Прянишникова



МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции,
посвященной 160-летию со дня рождения
академика Дмитрия Николаевича Прянишникова

**«Агрохимическая наука — основа эффективного
управления природно-ресурсным
потенциалом агроэкосистем»**

УДК 631.8
ББК 40.4

Составители:

О. В. Рухович, д.б.н.
М. В. Беличенко, к.б.н.
М. А. Петрова
О. И. Аристова

«Агрохимическая наука — основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем». Материалы Международной научно-практической конференции. — М.: ВНИИА, 2025. — 528 с.

ISBN 978-5-9238-0284-2
DOI 10.25680/VNIIA.2019.14.52.089

Сборник подготовлен и издан при поддержке АО МХК «ЕвроХим»

В сборнике опубликованы материалы докладов участников Международной научно-практической конференции посвященной 160-летию академика Дмитрия Николаевича Прянишникова «Агрохимическая наука — основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем», которая будет проходить в ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова» 7–9 октября 2025 года. В них представлены разработки в области агрохимической науки, охватывающие основные сельскохозяйственные районы Российской Федерации.

Тезисы докладов напечатаны в авторской редакции.

ISBN 978-5-9238-0284-2
DOI 10.25680/VNIIA.2019.14.52.089

УДК 631.8
ББК 40.4

© ФГБНУ «ВНИИ агрохимии
имени Д. Н. Прянишникова», 2025

УДК 631.174

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬ. ПАТРИОТ. ЛИЧНОСТЬ
(К 160-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА)**

Ю. С. Ценч, И. В. Сидоров

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, Москва,
e-mail: vimaspp@mail.ru; nit123@yandex.ru
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5с1, 84957093368*

Аннотация. В статье проанализирована научная биография академика Д. Н. Прянишникова в контексте истории химизации отечественного сельского хозяйства. Показано, что феномен личности Прянишникова в истории науки состоит не только в его собственных исследовательских успехах, но и создании отечественной традиции в агрохимии, придании ей системного качества.

Ключевые слова: Д. Н. Прянишников; история науки; агрохимия; химия; физиология растений; питание растений; химизация сельского хозяйства; химическая промышленность; аграрное образование

**THE RESEARCHER, PATRIOT AND PERSON (ON THE 160TH
ANNIVERSARY OF D.N. PRYANISHNIKOV'S BIRTH)**

Yulia Sergeevna Tsench, Ivan Vadimovich Sidorov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Abstract. In the article the scientific biography of academician D. N. Pryanishnikov in the context of Russian agriculture chemization history was analyzed. It was shown that Pryanishnikov phenomenon in the history of science consists not only in his own explorations, but also in the creation of Russian national tradition in agrochemistry and giving a systemic quality to this science.

Keywords: D. N. Pryanishnikov, history of science, agrochemistry, chemistry, plant physiology, plant nutrition, chemization of agriculture, chemical industry, agricultural education

Наследие выдающегося русского агрохимика, биохимика и физиолога растений Д. Н. Прянишникова (1865–1948) по сей день представляет значительный интерес исследователей истории отечественной науки и практики сельского хозяйства. Значение его личности для российской науки сравнимо с ролью видного ученого XIX в., ректора Санкт–Петербургского университета А. А. Воскресенского, известного как «дедушка русской химии». Его исключительно активная педагогическая деятельность открыла миру имена многих выдающихся химиков, в частности, Д. Д. Менделеева. Также Воскресенский вместе с Н. Н. Зининым по праву традиционно рассматривается как основатель самостоятельного русского направления в химии. Аналогичную работу в агрохимии проделал Д. Н. Прянишников — не являясь, безусловно, первым русским агрохимиком и не занимая высоких административных постов, именно он придал этой науке в нашей стране системное качество. Современная российская агрохимия, связанная с ним личной и идейной преемственностью, продолжает обеспечивать продовольственную безопасность страны и вносить вклад в фундаментальные знания о живом. Это делает необходимым обращение к наследию Д. Н. Прянишникова при исследовании исторических аспектов развития химизации сельского хозяйства России.

Д. Н. Прянишников родился в 1865 г. на окраине Российской империи, в г. Кяхте (современная Республика Бурятия) в семье купца. Именно это обстоятельство позволило ему получить классическое образование: окончить гимназию и поступить на физико-математический факультет Императорского Московского университета. Первоначальной специализацией Д. Н. Прянишникова была химия, которую он осваивал под общим руководством В.В. Марковникова. Через своих педагогов Прянишников является научным «внуком» одновременно двух наиболее известных русских химиков XIX в. — Д. Д. Менделеева и А.М. Бутлерова. В свою очередь, их академическая преемственность восходит к одному из основоположников агрохимии Ю. Либиху. Однако, как

оказалось впоследствии, молодому ученому окажется наиболее близким иной — физиологический подход к агрохимии, основанный Ж.-Б. Буссенго, с которым Прянишников связан через своего главного наставника К. А. Тимирязева [1].

Несмотря на возможность развивать успешную научную карьеру в рамках школы Марковникова, после выпуска Д. Н. Прянишников поступает в Петровскую земледельческую и лесную академию. На новом месте учебы его наставниками, кроме Тимирязева, являлись патриарх русского земледелия И. А. Стебут; агрохимик Г. Г. Густавсон и экономист А. Ф. Фортунатов. По окончании академии в 1889 г. Д. Н. Прянишников остается в ней для исследовательской и преподавательской работы, а в 1892 г. уезжает в двухлетнюю зарубежную командировку, которая сыграла знаковую роль в его окончательном самоопределении как ученого.

Магистральной проблемой в творчестве Д. Н. Прянишникова стали питание растений и способы его оптимального обеспечения для повышения эффективности растениеводства. При этом в разные периоды и даже в пределах одной работы он выступал в разных ипостасях — от химика и физиолога растений до экономиста.

Наиболее известным вкладом ученого в науки о жизни являются установление общих черт обмена азотистых веществ у растений и животных и разработка теории азотного питания растений. Эти фундаментальные изыскания позволили Прянишникову впоследствии разработать научные основы применения не только азотных, но и других удобрений, логическим завершением чего являлась выдвинутая им в 1924 г. идея химификации-химизации. Исследованиями, проведенными в рамках научной школы Д. Н. Прянишникова, доказана целесообразность применения минеральных удобрений в природно-климатических условиях нашей страны, что положило конец многолетним дискуссиям [2]. Как реформатор опытного дела Прянишников довел до логического завершения труды М. Г. Павлова, И. А. Стебута, А. Н. Энгельгардта и Д. Д. Менделеева по его развитию в России, обеспечив к 1941 г. создание Географической сети полевых опытов с удобрениями [3]. Значение её для агрохимии можно сравнить с Вавиловской коллекцией культурных семян в генетике и селек-

ции. Данная сеть стала источником информации для создания плана развития химической промышленности, скоординированного с нуждами земледелия. В результате из импортера удобрений страна превратилась в их крупного поставщика на мировой рынок, что до сих пор является важной статьёй её дохода [4].

Технологическим аспектам производства минеральных удобрений из отечественного сырья за недостатком специалистов также пришлось заниматься Д. Н. Прянишникову. В ходе этих работ, в т. ч. в рамках Азотной и Фосфоритной комиссий, стали формироваться его тесные творческие связи с известным геологом, учеником В. И. Вернадского Я. В. Самойловым [5]. Вместе с химиком-технологом Э. В. Брицке они создадут Общественный комитет по делам удобрений (ОКДУ), на базе которого в 1919 г. появится Научный институт по удобрениям — фактически родоначальник агрохимических исследований в нашей стране. Также Д. Н. Прянишников участвовал в деятельности Центрального научно-исследовательского института сахарной промышленности (ЦИНС) и по мере развития химизации инициировал создание в 1931 г. Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения (ВИУА), ныне являющегося ведущим хранителем его традиций наряду с Тимирязевской академией [6].

Постановка Д. Н. Прянишниковым проблемы химизации сельского хозяйства открывает весьма интересную и, как представляется, несколько недооцененную экономическую сторону его научного наследия. Он развил в своих трудах менделеевское положение о взаимосвязи промышленности и сельского хозяйства, а выполненные под его руководством экономические обоснования лежали в основе важнейших государственных решений, в т. ч. обеспечивших в 1945 г. Великую Победу. Д. Н. Прянишников являлся членом Госплана и активно участвовал в работе специального правительственного Комитета по химизации народного хозяйства, созданного также при его поддержке. В марте 1925 г. он произносит программную речь «Мальтус» и Россия», главная идея которой актуальна и поныне — при правильной организации сельского хозяйства Россия может уверенно обеспечивать себя продовольствием сама.

Инициировать, отстоять и обеспечить дальнейшее развитие идеи химизации сельского хозяйства было бы невозможно без достаточного количества кадров. Феномен Прянишникова состоит в том, что он не только занимался исследованиями и выработкой различных практических рекомендаций, но и сыграл системообразующую роль как создатель отечественной агрохимической школы [2]. Это проявилось и в организаторской, и в педагогической деятельности ученого. Д. Н. Прянишников как преподаватель связан с тремя учебными заведениями — Московским университетом, Московским сельскохозяйственным институтом (МСХИ, позднее — Тимирязевской академией, СХАТ/ТСХА) и Голицынскими высшими женскими сельскохозяйственными курсами, повсеместно внося значительный вклад в развитие. В Московском университете, помимо многолетнего чтения лекций, Прянишников настойчиво добивался воссоздания кафедры агрохимии в период её очередного изъятия из структуры вуза (1931–1943 гг.). В МСХИ, созданном в 1894 г. на базе Петровской академии ученый непрерывно проработает с 1895 г. всю жизнь, проявив себя как реформатор сельскохозяйственного образования. Многие годы он добивался полноценного представительства агрохимии как неотъемлемой составляющей высшего агрономического образования. Некоторую свободу действий давали административные назначения (от заведующего кафедрой до директора института), благодаря чему Прянишников добился не только официального признания самостоятельного эксперимента как формы учебной работы, но и сокращения количества экзаменов. Вместо этого студенты должны были самостоятельно подготовить дипломную работу по определенной специализации, что стало еще одной важнейшей новинкой. Окончательным успехом стало создание специализированной кафедры агрохимии в 1928 г. [7]

Рассуждая о перспективах высшего сельскохозяйственного образования, Прянишников критиковал практику открытия инженерных отделений в существующих аграрных вузах, предпочитая этому создание самостоятельных «инженерно-агрономических» (и вообще специализированных) институтов. По мнению ученого, это позволит удовлетворить растущий спрос и эффективнее задействовать преподавателей и материальную базу

без ущерба выпуску собственно агрономов. Впоследствии советское агроинженерное образование станет развиваться именно по этому пути [8].

Подобно своему учителю И. А. Стебуту, Д. Н. Прянишников настойчиво боролся за повышение правового статуса агрономического образования, признание его научного характера. Еще сложнее обстояло дело с высшим образованием для женщин, которому Д. Н. Прянишников также посвятил немало времени и трудов. Именно по его инициативе МСХИ стал принимать без экзаменов выпускниц высших женских курсов, им была разрешена сдача экзаменов на звание агронома экстерном (ранее женщин принимали лишь в исключительном и персональном порядке). Для обхода государственных ограничений пришлось прибегнуть также к созданию подобных курсов сельскохозяйственного профиля, и Москва стала вторым городом России, где было учреждено такого рода заведение. Курсы были организованы силами преподавателей МСХИ по инициативе княгини С.К. Голицыной в 1908 г. Д. Н. Прянишников стал первым директором и членом управляющего совета Курсов, считая важным участие образованных женщин в деле поднятия уровня жизни в деревне. Кроме того, создавалась еще одна возможность удовлетворить насущную потребность российских женщин получить полноценное высшее образование у себя на Родине. Ни по содержанию, ни по качеству образования Курсы не уступали институту, несмотря на полное отсутствие собственной материальной базы. Они оказались не только благородным, но и успешным начинанием, пережив революционные годы и в 1922 г. влившись в состав вернувшейся прежнее имя Петровской академии [9].

Создание ученым собственной, классической научной школы по агрохимии стало одним из оснований для присуждения ученому в июне 1945 г. звания Героя Социалистического Труда. В то же время учениками Д. Н. Прянишникова были видные специалисты и в смежных областях. Наиболее известен из них Н.И. Вавилов, который имел отдельные труды по агрохимии и всю жизнь гордился обучением у Д. Н. Прянишникова. В послевоенные годы еще при жизни ученого на созданной им кафедре агрохимии МСХА появляются новые важные направления. С 1945 г. по инициативе Д. Н. Прянишникова начинается чтение курса химиче-

ских средств защиты растений, а позднее под руководством И. И. Гунара создается одноименная лаборатория. Уже в 1949 г. М. Я. Березовский защитил первую в стране кандидатскую диссертацию о гербицидах, а с 1950 г. начались массовые испытания в разных зонах страны, подготовившие начало широкое применение гербицидов в СССР в 1961 г. [10]. В 1946 г. при кафедре агрохимии МСХА создается Биофизическая лаборатория — один из главных центров такой совершенно новой области знаний, как сельскохозяйственная радиология. Таким образом, системообразующая роль ученого простиралась за пределы его общеизвестных специальностей. Научная генеалогия Д. Н. Прянишникова представляет отдельную, не достаточно по сей день изученную проблему, еще ожидающую своего исследователя.

В историю науки ученый также внес значительный вклад, в разное время подготовив обстоятельные обзоры развития основных воззрений в агрономии и фундаментальный труд «Азот в жизни растений и в земледелии СССР», представляющий собой историю освоения человечеством данного элемента.

Личность Д. Н. Прянишникова имеет большой воспитательный потенциал для молодого поколения. Воспоминания самого ученого, его соратников и других современников демонстрируют, что ему были присущи качества лучших представителей русской демократической интеллигенции: человечность, принципиальность, научная и гражданская честность, истинный патриотизм. В многочисленных испытаниях, выпавших на долгую жизнь Д. Н. Прянишникова, они проявились в полной мере. Это и борьба за признание полноценного статуса агрономического образования, и обеспечение его доступности всем, кому чинило в этом препятствия дореволюционное законодательство, и, наконец, упорная борьба за само существование агрохимии в СССР. Вопреки всему, ученому удалось добиться и решения (к сожалению, поздно доведенного до исполнителей) о смягчении участи своего выдающегося ученика Н.И. Вавилова. Уже в одном этом факте проявился настоящий московский студент рубежа XIX-XX вв., принадлежавший сразу к двум прославленным братствам Университета и Петровской академии. Поэтому мы убеждены, что сохранение, изучение и популяризация наследия Д. Н. Прянишникова является важной научной и социально-культурной задачей.

Список литературы

1. Сычев В. Г. О научно-методическом обеспечении государственной агрохимической службы // Агрохимический вестник. 2014. № 6. С. 2–6.
2. Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Академик Д.Н. Прянишников и отечественная школа агрохимиков // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 1. С. 38–45.
3. Шкуркин С.И., Шафран С.А., Налиухин А.Н. Становление и развитие Географической сети полевых опытов с удобрениями в России (к 80-летию Географической сети полевых опытов с удобрениями) // Плодородие. 2021. № 3(120). С. 12–15.
4. Сидоров И.В. Химизация сельского хозяйства России: из истории науки и техники // Научно-технологическое развитие России в условиях новых вызовов: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Белгород, 13 июня 2024 года. — Белгород: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», 2024. С. 5–11.
5. Торшин С.П., Смолина Г.А. Первые шаги учения об агрономических рудах (к 150-летию со дня рождения Я.В. Самойлова) // Агрохимический вестник. — 2020. № 6. С. 82–84.
6. Шкуркин С.И. 90 лет Всероссийскому научно-исследовательскому институту агрохимии имени Д.Н. Прянишникова // Плодородие. 2021. № 3(120). С. 3–6.
7. Налиухин А.Н., Торшин С.П. 95 лет отечественной агрохимии в Тимирязевке // Агрохимический вестник. 2023. № 5. С. 96–98.
8. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Становление системы агроинженерного образования в СССР в 1920–1930-е гг. // Вестник РУДН. История России. 2020. Т. 19. № 3. С. 684–698.
9. Елина О.Ю. Организация высшей женской сельскохозяйственной школы в Москве: к 110-летию Голицынских курсов // Педагогика. 2019. № 3. С. 108–115.
10. Баздырев Г. И. Памяти выдающегося герболога М. Я. Березовского // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2004. № 4. С. 120–122.

УДК 631.8

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ И ЕЁ РОЛЬ В РАЗВИТИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРАНЕ

¹О. В. Рухович, ^{1,2}В. А. Романенков

¹ ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». Москва, ул. Прянишникова, 31А

² МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, МГУ,
ф-т почвоведения

Аннотация: в статье отражены история, методология, современное состояние и огромная научная ценность Географической сети опытов с удобрениями (Геосети) — уникальной для России системы длительных полевых опытов, которая служит фундаментальной базой для агрохимических, экологических и климатических исследований.

Ключевые слова: длительные опыты, удобрения, географическая сеть, развитие

GEOGRAPHICAL NETWORK OF EXPERIMENTS WITH FERTILIZERS AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF AGROCHEMICAL RESEARCH IN THE COUNTRY

¹Olga Vladimirovna Rukhovich, ^{1,2}Romanenkov Vladimir Arkadievich

¹ All-Russian Research Institute of Agrochemistry. Moscow,
Pryanishnikova Street, 31A

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Leninskie Gory, Lomonosov
Moscow State University, Faculty of Soil Science

Abstract: The article reflects the history, methodology, current state, and great scientific value of the Geographical Network of Fertilizer Experiments (Geoseti), a unique system of long-term field experiments in Russia that serves as a fundamental basis for agrochemical, environmental, and climatic research.

Keywords: long-term experiments, fertilizers, geographical network, development

Ценность длительных полевых опытов состоит в том, что надежные экспериментальные оценки, особенно медленно меняющихся показателей почвенного плодородия из-за высокой пространственной изменчивости и требуемой точности результатов, могут быть получены только на основе многолетних исследований, с учетом подхода *ceteris paribus*, известного в агрохимии как принцип единственного различия. Это обстоятельство определяет принципы, используемые в полевых опытах с 19 века и по сей день, основанные на изучении влияния различных уровней одного или нескольких факторов (чаще всего, доз и сочетаний удобрений) на одну переменную отклика (обычно урожайность), с учётом повторностей, блокировки и рандомизации [1]. Тем не менее, существует известное ограничение в том, что опыт позволяет делать выводы только для конкретного участка, на котором он проводится. Совокупный анализ экспериментальных данных, полученных при сравнении различных опытов между собой, позволяет получить обобщённые результаты. На этом подходе основаны многочисленные современные публикации, в которых использован принцип метаанализа, применимый при широком варьировании условий проведения опытов. При организации однотипных экспериментов, базирующихся на одной и той же схеме, можно получить более точные выводы и, что очень важно, за короткое время. Это необходимо учитывать, поскольку проведение каждого опыта является дорогостоящим исследованием; для подтверждения эффективности опытов и их соответствия методике требуется скоординированная оценка [2,3]. Возможность закладки серии подобных опытов по единой схеме стали обсуждать в европейских публикациях с конца 80-х гг. прошлого века, в то время как система сравнительных исследований в СССР имела уже 50-летнюю историю, начиная с 1930-х гг., когда по инициативе Д. Н. Прянишникова и А.Н. Лебеяднцева были сформулированы методические предпосылки создания Географической сети опытов с удобрениями (Геосети) — единой экспериментальной базы по изучению минеральных удобрений [4]. Под руководством Д. Н. Прянишникова были

разработаны и приняты унифицированная программа и методология проведения исследований в длительных полевых опытах, обязательная для всех учреждений и исполнителей, организации в них почвенных, агрохимических, микробиологических и физиологических исследований. Репрезентативность длительных полевых опытов для почвенно-климатических регионов, типичность изучаемого набора культур и агротехнологических приемов позволяла проводить экстраполяцию получаемых в опытах результатов, включающих оптимизацию форм, доз, сроков и способов применения удобрений, даже в условиях отсутствия принципов сбора и обработки больших данных и отсутствия либо ограниченных компьютерных возможностей.

Единая схема проведения и обобщения опытов позволила спланировать многие перспективные решения в развитии экономики и сельского хозяйства страны. Уже в первую советскую пятилетку Д. Н. Прянишников предложил научное обоснование размещения химических заводов по производству удобрений, с разделением земледельческой зоны страны на районы с различной эффективностью применения удобрений на основе обобщения данных полевых опытов с удобрениями. Результаты, полученные на основе обобщения данных Геосети, были использованы при реализации стратегии химизации сельского хозяйства, начиная с 60-х гг. прошлого века для расчёта потребности в объемах производства минеральных удобрений и их ассортимента. Принципы организации массовых краткосрочных полевых опытов с удобрениями в производственных условиях, реализованные в тот же период при создании агрохимической службы страны и использованные затем в разработке нормативов на получение единицы урожая и единицы прибавки урожая в 1981–1985 гг. для обоснования оплаты применения удобрений увеличением урожайности, также базировались на программе и методах исследований, предложенных ранее для Географической сети опытов.

Длительные полевые опыты исторически закладывались как объект исследования для ответа на вопросы, касающиеся, главным образом, питания растений и достижения максимально возможной урожайности при управлении почвенным плодородием [5].

Позднее они стали использоваться для выявления влияния элементов агротехнологий (помимо удобрения, в основном обработки почвы и севооборота) на урожайность сельскохозяйственных культур [6,7]. Опыты Геосети благодаря возможности сравнительного обобщения большого объема данных и выявления географических закономерностей действия удобрений были использованы, начиная с 70-х гг. прошлого века, при обосновании зональных технологий применения удобрений. Данный подход разрабатывался на основе выделения внутри природных земельных зон территорий с однородными условиями земледелия и уровнем почвенного плодородия [8]. При анализе комплекса факторов сельскохозяйственного производства он позволял перейти к технологиям совместного внесения удобрений и средств защиты растений и комплексного агрохимического окультуривания почв. Наибольшего развития система полевого экспериментирования получила в 80–90-х гг. XX в., когда количество проводимых длительных опытов Геосети превысило 650, что сопоставимо с количеством современных длительных опытов в мире [9]. Это даёт возможность считать Геосеть опытов России уникальной, не имеющей мировых аналогов, системой длительных стационарных наблюдений.

В Геосети в настоящее время участвуют 43 института, где проводят 59 многолетних полевых опытов с удобрениями, продолжительность которых составляет от 20 до 70 лет.

Наибольшее количество экспериментов проводится в Центральном федеральном округе (18 опытов) и в Приволжском федеральном округе (11). В Северо-Кавказском — 8, в Сибирском и Уральском федеральных округах функционируют по 6 аттестованных длительных опытов, на Дальнем Востоке — 4, в Северо-Западном и Южном федеральных округах по 3 опыта.

В длительных опытах, помимо различных систем удобрения, изучают и другие факторы, которые отличаются в зависимости от региона.

В Нечерноземной зоне основное внимание уделяется известкованию и средствам защиты растений. В Черноземной зоне исследования сосредоточены на севооборотах и системе обработки почвы.

В Северо-Кавказском федеральном округе (ФО) исследуют обработку почвы, внесение растительных остатков и влияние орошения. В Приволжском ФО все изучаемые факторы представлены в опытах достаточно равномерно. Здесь наибольшее количество опытов посвящено внесению растительных остатков, и есть один опыт с орошением.

В Сибирском ФО в большинстве опытов изучают средства защиты растений, системы обработки почвы и севообороты, а также есть опыт с орошением.

В Уральском ФО, помимо влияния удобрений на урожай и почву, исследуют внесение растительных остатков, зеленое удобрение, известкование и средства защиты растений. В Дальневосточном ФО изучают известкование, внесение растительных остатков и средства защиты растений.

Результаты длительных экспериментов обобщаются по выбранным критериям: федеральным округам, типам почв и изучаемым факторам. Это позволяет лучше понять многие процессы и обнаружить существующие проблемы.

Многие проблемы в агрохимической науке и сопряженных областях исследования, которые до сих пор не могут считаться решенными на сегодняшний день, могут быть изучены только на основе длительных полевых опытов. Экологическая проблематика в земледелии, включая тему экономически эффективного и экологически устойчивого сельского хозяйства, возникшие в 80–90-х гг. прошлого века, обусловили новый интерес к длительным полевым опытам как объектам, позволяющим количественно оценить эффективность использования и потерю внесенных питательных элементов, накопление и транслокацию тяжелых металлов, возможность управления качеством урожая (белковостью, содержанием микроэлементов и загрязняющих веществ) [8,9]. В 90-х гг. XX в. методическая выдержанность полевых опытов Геосети позволила быстро расширить объем исследований в агроэкосистемах с привлечением информации о сопредельных средах на основе организации системы опытов нового типа — агроэкологических полигонов (Литвак и др., 1997).

Длительные полевые опыты оказались крайне востребованными для исследований цикла углерода и оптимизации содержания

органического вещества почвы [10–13]. в оценках устойчивости урожайности, связанной с изменением климата [14–16], и разработки соответствующих вариантов адаптации [17,18].

Данные длительных полевых опытов представляют ценность для создания и настройки моделей [19,20]. и концепций, используемых для оценки функций почвы [21,22]. В конце 80-х — начале 90-х гг. интерес к использованию результатов полевых опытов Геосети был вызван применением моделирования для поиска оптимизационных решений. Использование моделирования решало проблему репрезентативности малых выборок при одновременном изучении большого количества факторов и позволяло анализировать роль почвенных, погодных и агротехнических факторов с учетом видовой специфики зерновых и пропашных культур (Стребков и др., 1988). Первый банк данных Геосети для автоматизированной обработки был создан во ВНИИА в середине 70-х гг. прошлого столетия. С созданием глобальных исследовательских сетей длительных полевых опытов в начале текущего столетия и требований к организации баз данных в них появилась возможность использовать экспериментальные данные полевых опытов для верификации динамических моделей и предсказательного моделирования, в том числе для решения вопросов адаптации к климатическим изменениям [23,24]. Создание электронных баз данных Геосети оказалось достаточно трудной задачей, с необходимостью включения процедур проверки качества данных и их восстановления. Обычно авторы публикаций ограничиваются метаданными — условно однородными выборками, собранными по литературным данным. В связи с этим базы данных, отражающих историю наблюдений за комплексом агрохимических показателей, а также возможности создания специализированных электронных баз под конкретную задачу исследований чрезвычайно востребованы.

Современные представления об эффективном управлении природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем, с учетом эколого-агрохимической характеристики почв, динамики показателей состояния агроэкосистем, вопросов экологической безопасности агроценозов базируются на новых способах обработки данных, таких, как использование ГИС, результатов дистанционных методов

обследования, технологий ИИ. Это позволяет объединять уже созданные базы данных Геосети с электронными картами, агрохимическими, климатическими и ландшафтными показателями при постановке мониторинговых исследований, направленном управлении плодородием, урожаем и качеством продукции на уровне отдельных полей или рабочих участков [25–28]. Так, использование последних разработок лаборатории Геосети позволило провести отраслевое научное исследование производственного потенциала регионов Урала, Сибири и Дальнего Востока в области производства зерновых, зернобобовых и масличных культур.

Обследования были проведены в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, в 20 областях, 398 районах. Потенциал пашен для исследования составил более 30 миллионов гектар, построено 540 моделей для 9 культур.

Обобщение большого числа многолетних полевых опытов Геосети с широким набором культур и фактического экспериментального материала за многолетний период обследования почв, проведенных в различных НИИ, позволило построить региональные пространственно-явные статистические модели ландшафтно-обусловленной урожайности сельскохозяйственных культур при разных уровнях интенсивности агротехнологий с использованием цифровых моделей рельефа и климата для всех областей исследуемых регионов, составлен реальный прогноз и проведена оценка потенциальных возможностей производства зерновых, зернобобовых и масличных культур на ближайшую и отдаленную перспективу [28]

В рамках мирового научного исследования, институтами-участниками Геосети была проведена работа по изучению процесса разложения органических веществ растительного происхождения в различных почвенно-климатических условиях.

Благодаря совместным усилиям научного сообщества было собрано более 36 000 измерений разложения чайных пакетиков на почти 2000 экспериментальных площадках площадью 1 км², расположенных в различных наземных биомах по всему миру, включая длительные опыты. Эта база данных позволила провести масштабный эмпирический анализ начальной динамики потери массы органических остатков в глобальном масштабе [29]

На основе данных опытов Геосети исследованы тенденции и пространственные закономерности климатических рисков и потерь урожайности, отражающих агроклиматические особенности производства сельскохозяйственной продукции на территории различных регионов РФ. [30]

Использование опытов как научной базы фундаментальных исследований в агрохимии и смежных науках — растениеводстве, защите растений, агрометеорологии, почвоведении, микробиологии, науках об окружающей среде, а также в качестве объектов мониторинга сельскохозяйственных земель требует системы оценки длительных опытов Геосети. На современном этапе она должна учитывать не только их научную значимость и выполнение программ научных исследований, но и наличие электронных баз данных, архивных образцов, интеграцию с ДДЗ и другие необходимые критерии, на основе которых производится ранжирование опытов. На основании такой системы могут приниматься решения о возможности участия опытов в программах НИР и использовании их результатов в качестве данных мониторинга. Так, в перспективных планах НИР, разрабатываемых отделением сельскохозяйственных наук РАН, должны быть предусмотрены задачи, решаемые на основе опытов Геосети. Это могут быть вопросы, относящиеся к контролю за длительными изменениями медленно меняющихся показателей, например, касающиеся оценки влияния климатических изменений и разработка стратегий адаптации сельского хозяйства, длительные тренды урожая и качества продукции, устойчивость почв и длительное изменение почвенного плодородия, включая мониторинг почвенного углерода, длительные изменения в циклах, пулах, фракциях биогенных элементов; длительные тренды в аккумуляции, перемещении, трансформации различных загрязнителей в пахотных почвах и многие другие.

Список литературы

1. Li, X., Storkey, J., Mead, A. et al. A new Rothamsted long-term field experiment for the twenty-first century: principles and practice. *Agron. Sustain. Dev.* 43, 60 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00914-8>

2. Körschens, M.: The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research— a review, *Plant Soil Environ.*, 52, 1–8, 2006.

3. Berti, A., Marta, A.D., Mazzoncini, M., and Tei, F.: An overview on long-term agro-ecosystem experiments: Present situation and future potential, *Eur. J. Agron.*, 77, 236–241, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.004>, 2016.

4. Романенков В.А., Шевцова Л.К. Длительные опыты Геосети в современных и перспективных агрохимических и агроландшафтных исследованиях // *Агрохимия*. — 2014. — № 11. — С. 3–14.

5. Merbach, W. and Deubel, A.: Long-term field experiments— museum relics or scientific challenge?, *Plant Soil Environ.*, 54, 219–226, <https://doi.org/10.17221/395-PSE>, 2008.

6. Fisher RA (1925) *Statistical methods for research workers*. Oliver and Boyd, Edinburgh, London

7. Mead R, Gilmour SG, Mead A (2012) *Statistical principles for the design of experiments*. Cambridge series in statistical and probabilistic mathematics, vol [36]. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN: 9781139020879. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139020879>

8. Романенков В.А., Беличенко М.В., Рухович О.В. и др. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных опытах агрохимслужбы и Геосети Российской Федерации // *Агрохимия*. — 2020. — № 12. — С. 28–37.

9. Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M. et al. (2012). Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(8), 1017–1040. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.704548>

10. Романенков В.А. Динамика запасов почвенного углерода в агроценозах Европейской территории России (по данным длительных агрохимических опытов): Автореф. дис. д-ра биол. наук. М., 2011. 47 с.

11. Сиротенко О.Д., Романенков В.А., Шевцова Л.К. Имитационная система поддержки и обобщения результатов многолетних полевых опытов // *Агрохимия*. — 2003. — № 10. — С. 75–84.

12. Ellerbrock, R.H. and Gerke, H.H.: Analyzing Management Induced Dynamics of Soluble Organic Matter Composition in Soils from Long-

- Term Field Experiments, *Vadose Zone J.*, 15, 1–10, <https://doi.org/10.2136/vzj2015.05.0074>, 2016.
13. Körschens, M., Albert, E., Baumecker, M. et al. Humus und Klimaänderung—Ergebnisse aus 15 langjährigen Dauerfeldversuchen, *Arch. Acker Pfl. Boden*, 60, 1485–1517, <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.892204>, 2014.
 14. Романенков В.А. Исследование эффективности управления плодородием в агроэкосистемах на основе изучения рядов урожайности в длительных полевых опытах // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2015. — Т. 26, № 2. — С. 97–114.
 15. Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В. Оценка климатических рисков при возделывании зерновых культур на основе региональных данных и результатов длительных опытов Геосети // Агрохимия. — 2018. — № 1. — С. 77–86.
 16. Macholdt, J., Piepho, H.-P., and Honermeier, B.: Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: Results from a long-term field experiment, *Eur. J. Agron.*, 102, 14–22, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.10.007>, 2019.
 17. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. 2009. Методы оценки влияния изменения климата на продуктивность сельского хозяйства [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/05.pdf
 18. Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G. et al. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies, *Land Degrad. Dev.*, 29, 2378–2389, <https://doi.org/10.1002/ldr.3006>, 2018.
 19. L. Shevtsova, V. Romanenkov, O. Sirotenko et al. Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soils—modeling and observation // *Geoderma*. — 2003. — Vol. 116, no. 1–2. — P. 165–189.
 20. Vogel, H.-J., Eberhardt, E., Franko, U., Lang, B., Ließ, M., Weller, U., Wiesmeier, M., and Wollschläger, U.: Quantitative Evaluation of Soil Functions: Potential and State, *Front. Environ. Sci.*, 7, 164, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00164>, 2019.
 21. Techen, A.-K., Helming, K., Brüggemann, N. et al. Soil research challenges in response to emerging agricultural soil management practices, *Adv. Agron.*, 161, 179–240, <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.01.002>, 2020.
 22. P. Smith, D. Martino, Z. Cai et al. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2007. — Vol. 118, no. 1–4. — P. 6–28.
 23. Сычев В.Г., Рухович О.В., Романенков В.А. и др. Опыт создания единой систематизированной базы данных полевых опытов агрохимслужбы и Геосети Агрогеос // Проблемы агрохимии и экологии. — 2008. — № 3. — С. 35–38.
 24. Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В. Оценка климатических рисков при возделывании зерновых культур на основе региональных данных и результатов длительных опытов Геосети // Агрохимия. — 2018. — № 1. — С. 77–86.
 25. Романенков В.А., Рухович О.В. Оценка управления плодородием и качеством почв на основе агрохимических полевых исследований // Проблемы агрохимии и экологии — от плодородия к качеству почвы. — Отдел полиграфии научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва: 2021. — С. 17–24.
 26. Шкуркин С.И., Рухович О.В., Романенков В. А., Беличенко М. В. Стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями // Проблемы агрохимии и экологии. — 2024. — № 4. — С. 4–8.
 27. Шарый П.А., Шарая Л.А., Рухович О.В., Шкуркин С.И. Методы моделирования урожайности сельскохозяйственных культур: Обзор//Проблемы агрохимии и экологии. — 2023. -№ 2. — С. 62–70. DOI: 10.26178/AE.2023.42.74.010
 28. Шарая Л.С., Рухович О.В., Шарый П.А., Иванова О.И., Никитина Л.В. Связь урожайности яровой пшеницы с климатом, почвами и рельефом на Урале// Плодородие. — 2023. — № 5(134). — С. 68–71. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.17.
 29. Ecology Letters, Volume:27, First published: 07 May 2024, DOI: (10.1111/ele.14415)
 30. В.А. Романенков, В.Н. Павлова, М.В. Беличенко Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур //Агрохимия. 2022. № 12 с. 19–30

**РОЛЬ ДМИТРИЯ НИКОЛАЕВИЧА ПРЯНИШНИКОВА
В РАЗВИТИИ АГРОХИМИИ В БЕЛОРУССКОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ**

Т. Ф. Персикова, М. В. Царёва, М. Л. Радкевич

*Учреждение образования «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», Республика Беларусь, Горки
Persikova52@rambler.ru, tsarevamariya@mail.ru, rml0916@mail.ru
213407, Могилёвская обл., г. Горки, ул. Мичурина, 5 каф. агрохимии
и почвоведения +375 29 6860536*

Аннотация: в статье отражены научные идеи Д. Н. Пряниш-
никова, реализованные учёными агрохимической науки в
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная акаде-
мия». Представлена информация о переданной академии библио-
теке учёного.

Ключевые слова: Д. Н. Прянишников; агрохимия; удобре-
ние; урожайность; плодородие

**ROLE OF DMITRI NIKOLAEVICH PRYANISHNIKOV
IN AGROCHEMISTRY DEVELOPMENT IN BELORUSSIAN
STATE AGRICULTURAL ACADEMY**

***Tamara Filippovna Persikova, Mariya Vladimirovna Tsareva,
Marina Leonidovna Radkevich***

*EI «Belorussian State Agricultural Academy», Gorki, tsarevamariya@mail.ru
5, Michurina st., Gorki, 213407, Republic of Belarus*

Annotation: The article reflects the scientific ideas of
D. N. Pryanishnikov, implemented by scientists of agrochemical
science in the Educational Institution «Belarusian State Agricultural

Academy». Information is presented about the library of the scientist
transferred to the Academy.

Keywords: D. N. Pryanishnikov; agrochemistry; fertilizer; yield;
fertility

Вспоминая историю, анализируя события и факты в связи с
развитием сельскохозяйственного производства, изменениями в
политической и экономической жизни общества, становится оче-
видным, что настоящее неразрывно связано с прошлым, а прошлое
в немалой степени определяет будущее. Дмитрий Николаевич
Прянишников — русский агрохимик, биохимик и физиолог расте-
ний, основоположник советской научной школы в агрономической
химии. Николай Иванович Вавилов писал о Дмитрие Николаевиче
как о крупнейшем авторитете в современной мировой агрономиче-
ской науке, точной, опытной, достоверной, ясно сформулирован-
ной, окристаллизованной: «Кто знает лично Дмитрия Николаеви-
ча, тот представляет его человеком без страха и упрёка, необычай-
ной смелости, правдивости, ясности и настойчивости» [1]. «Когда
спрашивают о науке в той или иной стране, то мы прежде всего
думаем о том, что нового внесли научные деятели этой страны в
мировые знания, какие новые пути проложены ими, какие ориги-
нальные школы и течения существуют в данной стране; в наших
умах встают имена ведущих исследователей, которых дала эта
страна. Как маяк, они определяют научный уровень целой страны,
направленность работы больших научных коллективов» [1]. Это
относится к Дмитрию Николаевичу Прянишникову Герою Социа-
листического Труда, Лауреату премии им. В. И. Ленина, Сталин-
ской премии и премии им. К. А. Тимирязева, Академик Академии
наук СССР и ВАСХНИЛ, член-корреспондент Французской ака-
демии наук, основатель и директор Научного института по удоб-
рениям, член Госплана СССР и Комитета по химизации народного
хозяйства. В 1889 г. он окончил Петровскую сельскохозяйствен-
ную академию (ныне Российский государственный аграрный уни-
верситет — МСХА им. К. А. Тимирязева). С 1895 г. и до конца
жизни — заведующий кафедрой агрохимии в Московском сель-
скохозяйственном институте. Основные исследования Д. Н. Пря-
нишникова посвящены агрохимии, азотному питанию растений и

применению минеральных удобрений в земледелии. Он занимался не только теоретическими исследованиями. Физиологические исследования превращения азота и фосфора в растениях позволили ему по-новому подойти к проблеме применения минеральных удобрений. Прянишников выяснил, каков механизм усвоения растениями азота, находящегося в разных видах химических соединений, и эти выводы легли в основу практических рекомендаций применения удобрений [2]. Д. Н. Прянишников был инициатором активного использования в качестве местных удобрений навоза и торфа, а также поиск минерального природного сырья для создания собственной туковой промышленности для производства минеральных удобрений. Основное жизненное кредо академика Д. Н. Прянишникова было посвящено трём жизненным научным направлениям: а) становление и развитие агрохимической науки в России; б) подготовка квалифицированных кадров (учёных-агрохимиков и практиков агрономов в области земледелия и питания растений); в) реализация приёмов, мероприятий по сохранению плодородия почв при получении высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Для будущего развития сельского хозяйства страны в целом стояли крайне важные задачи, а именно: а) доказать положительную роль внесения минеральных удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур; б) провести активный поиск месторождений минеральной сырьевой базы для производства собственных удобрений; в) убедить новые власти молодой России в целесообразности создания туковой промышленности по производству собственных минеральных удобрений и г) научить советского крестьянина получать высокие урожаи. Для решения вышеперечисленных задач по инициативе Д. Н. Прянишникова в 1919 г. был организован Научный институт по удобрениям, он основал его агрохимический отдел и в 1919–1929 гг. возглавлял его [3]. Актуальным и малоисследованным перед агрохимиками оказался вопрос об эффективности минеральных удобрений на разных почвах и климатических условиях страны. Благодаря организованной Географической сети полевых опытов с удобрениями была доказана эффективность их внесения во всех почвенно-климатических зонах. Под руководством Д. Н. Прянишникова и

А.Н. Лебеядцева была разработана Программа всесоюзной проверки эффективности минеральных удобрений при внесении под все сельскохозяйственные культуры и на всех почвах страны. В реализации этой инициативы разработана и предложена для всех географических опытов страны единая схема сочетания минеральных удобрений. Все опыты проводились и обобщались под жёстким контролем Института удобрений [4]. Опыты Географической сети опытов позволили оценить особенности действия видов удобрений, и способы их внесения под сельскохозяйственные культуры и создать основу для дальнейшего развития сети исследований. Изучение эффективности удобрений в разных почвенно-климатических зонах позволила определить наиболее оптимальные соотношения элементов питания, более высокие нормы и дозы, технологические срок и способы их внесения под с.х. культуры. При этом были окончательно опровергнуты существующие представления о низкой эффективности удобрений. Ученик и последователь Д. Н. Прянишникова, профессор А.В. Петербургский отмечал: «Возвращаясь к оценке результатов опытов географической сети Института удобрений, проводившихся сотнями станций с разными культурами и в разных районах страны, необходимо подчеркнуть, что они повсюду явили важность и безотказность действия минеральных удобрений» [5].

Научные идеи Д. Н. Прянишникова были приняты и получили широкое распространение при проведении агрохимических исследований в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Вклад ученого в развитие науки в академии трудно переоценить. В 1919 г. профессор Д. Н. Прянишников был избран профессором-консультантом воссозданного после Великой Октябрьской революции сельскохозяйственного института в Горках. Для организации опытной станции в Горы-Горетском земледельческом институте Д. Н. Прянишников рекомендовал профессора В. В. Винера. Известный учёный, крупнейший специалист по сельскому опытному делу профессор В. В. Винер положил в 1919 г. начало организации опытных учреждений в Горках. Под его руководством разрабатывались актуальные вопросы удобрения и севообороты. Следует отметить, что первые агрохимические исследования начались в Горы-Горетской земледельческой школе в

Беларуси. В 1845 г. под руководством профессора Константина Даниловича Шмидта была открыта химическая лаборатория, в которой проводились агрохимические исследования почв, удобрений и сельскохозяйственной продукции. Один из основоположников русской сельскохозяйственной науки Иван Александрович Стебут, окончивший в 1854 г. Горы-Горецкий земледельческий институт, на опытном поле Горы-Горецкого земледельческого института заложил серию полевых опытов по изучению различных вопросов агрономии (севообороты, агротехнике возделывания полевых культур, применению местных и минеральных удобрений, известкованию кислых почв, травосеянию). Труды И. А. Стебута, где он указывал на важную роль известкования и минеральных удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, использования люпина для повышения плодородия лёгких почв, имели большое значение в развитии отечественной агрономии и агрохимии. Целенаправленные агрохимические исследования начались в академии в 1921 г., когда была создана кафедра агрохимии, а в 1931 г. в академии был открыт факультет агрохимии и почвоведения, который являлся одним из первых в Советском Союзе. Первым заведующим кафедрой агрохимии стал доктор сельскохозяйственных наук, профессор впоследствии академик Академии наук БССР и ВАСХНИЛ Оскар Карлович Кедров-Зихман. Исследования проведённые в 1921–1931 гг. под руководством О. К. Кедрова-Зихмана, позволили сформулировать ряд важнейших положений известкования» [6]. Он разработал теоретические основы и практические аспекты известкования кислых почв, использования доломитов для известкования, применения микроэлементов на известкованных почвах. Исследования, проведенные в эти годы, позволили сформулировать ряд важнейших положений известкования. Они получили мировую известность и до сих пор являются теоретической основой химической мелиорации почв. Важное место в этих исследованиях занимает изучение роли магния в известковых удобрениях. Результаты исследований стали предпосылкой для построения крупнейшего в Беларуси предприятия по производству доломитовой муки на базе месторождения «Руба» (Витебское ОАО «доломит»).

Довоенные годы (1938–1941 гг.) были ознаменованы изучением возможности применения сапропелей в качестве удобрений. В послевоенный период (1945–1972 гг.) вся научная деятельность кафедры была направлена на изучение питания растений, рациональных способов внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры. Заведующий кафедрой Роберт Тэнисович Вильдфлуш со своими учениками разработали теоретические основы применения удобрений под основные сельскохозяйственные культуры. Он был создателем научной школы в области питания растений и изучения рациональных способов внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры. Он возглавил направления по питанию растений и впервые в Беларуси по локальному внесению удобрений. По инициативе Р.Т. Вильдфлуша при кафедре агрохимии была открыта проблемная лаборатория с отделом питания растений. В это же время был построен современный по тем временам вегетационный домик. Проведение дальнейших исследований обусловило необходимость закладки длительных полевых опытов в различных севооборотах [7]. В 1950 г. Анатолием Михайловичем Брагиным, по инициативе Р. Т. Вильдфлуша, на опытном поле «Иваново» был заложен длительный стационарный опыт в пятипольном севообороте по схеме Д. Н. Прянишникова для изучения навозной, минеральной и навозо-минеральной систем удобрения. Впервые для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси были определены нормативы внесения удобрений для достижения бездефицитного баланса гумуса и питательных элементов: 10–12 т/га +200–220 кг/га NPK в среднем в год на фоне известкования по полной гидролитической кислотности. При этом обеспечивается урожайность зерновых на уровне 40–50 ц/га при интенсивности баланса для N на уровне 110–120%, P_2O_5 и K_2O — 200–300 и 110–140% соответственно. Эти выводы были использованы при разработке республиканских рекомендаций. Длительные, брагинские, опыты как их называют, вошли в каталог длительных опытов БССР и СССР, а первые из них включены в каталог длительных европейских опытов [8]. На опытном поле «Тушково» под руководством Александра Арсеньевича Каликинского эффективность локального способа изучалась в 2 севообо-

ротах, заложенных на почвах разного уровня плодородия [9,10]. Результаты исследований показали что при локальном способе внесения удобрений по сравнению с разбросным дозы минеральных удобрений можно снизить на 25–30% и увеличить урожайность зерновых на 2,5–4,0 ц/га, картофеля — 30–50, зелёной массы кукурузы — 40–45, кормовых корнеплодов — 25–36, сахарной свёклы 30–50 ц/га. Было установлено, что при локальном внесении удобрения не перемешиваются с почвой и создаются очаги повышенной концентрации элементов питания, которые более интенсивно поглощаются. При локальном способе коэффициент использования азота возрастает на 10–15%, фосфора — 5–10%, калия — 10–12%. Исследования проводились по всему Советскому Союзу и координировались ВИУА. В СССР было налажено производство машин (СЗК-3,3 и др.), позволяющих под зерновые и зернобобовые культуры снижать дозы удобрений и совмещать операции локального и основного внесения удобрений и посева, что позволяло компенсировать затраты на внутрпочвенное внесение. Однако, после распада СССР производство таких машин было прекращено. Широкое распространение этот способ внесения удобрений получил в США и ряде западноевропейских стран. В течение 25 лет Анной Ивановной Горбылёвой изучалась сравнительная эффективность ленточного внесения НРК-удобрений под все культуры двух пятипольных севооборотов и периодического (запасного) внесения РК-удобрений с ежегодным разбросным внесением. Было установлено что запасное внесение обеспечивает равные или более высокие урожаи сельскохозяйственных культур по сравнению с ежегодным разбросным, увеличивает производительность агрегатов на 35–40% и снижает затраты на работах с удобрениями на 35–50% [6]. За цикл исследований, посвященных вопросам эволюции почвенного плодородия и комплексным проблемам охраны почв, оптимизации питания растений и почвенных процессов с целью создания высокопродуктивных и чистых агроценозов на дерново-подзолистых почвах, на конкурсной основе в 2004 г. А.И. Горбылёвой была присуждена премия имени академика Д. Н. Прянишникова, учреждённая правительством России для учёных в области агрохимии. Впервые с использованием методов фракционного состава

минеральных и органических фосфатов Игорь Робертович Вильдфлуш исследовал формы соединений минеральных и органических фосфатов в автоморфных, эродированных и заболоченных дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, в длительных стационарных опытах с удобрениями — трансформацию в почвах вносимого с удобрениями фосфора [11]. Им создана научная агрохимическая школа по проблемам оптимизации фосфорного режима дерново-подзолистых почв, исследованию эффективности новых форм удобрений, бактериальных, диазотрофных и фосфатмобилизирующих биопрепаратов, регуляторов роста растений, разработке ресурсосберегающей технологии комплексного применения удобрений и средств защиты растений при возделывании сельскохозяйственных культур. На рациональное использование биологического азота на дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь, разработке эколого-физиологических принципов технологий формирования высокопродуктивных и устойчивых смешанных посевов на основе оптимизации минерального питания и пространственного размещения компонентов в агрофитоценозе, оптимизацию условий выращивания сорго сахарного, разработке сортовой агротехники люпина узколистного и проса обладающих высокими показателями качества зерна, устойчивостью к основным болезням были направлены исследования Персиковой Тамары Филипповны.

Д. Н. Прянишников утверждал, что избыток удобрений не заменит знаний об их рациональном использовании. Дальнейшее повышение продуктивности почв необходимо не за счет повышения объемов применения минеральных удобрений, а за счет повышения эффективности их использования. Чтобы получать высокую отдачу от применения удобрений, необходимо организовать их рациональное использование на основе внедрения в хозяйствах энергосберегающих, экологически сбалансированных систем удобрения сельскохозяйственных культур. Преподаватели кафедры агрохимии БГСХА изучали приёмы внесения удобрений на сенокосах, использование осадка сточных вод, соломы на удобрения, новых форм удобрений в севооборотах, микроудобрений под бобовые культуры, и их хелатные формы, эффективность навозных стоков животноводческих комплексов, технологию возделывания

льна-долгунца и льна масличного. Кафедра имеет опытное поле в д. Тушково на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА», где проводят опыты аспиранты, магистранты, студенты и преподаватели. Коллектив кафедры агрохимии и почвоведения УО БГСХА продолжает свою целенаправленную работу по подготовке специалистов агрохимиков и почвоведов высшей квалификации, бережно относится к традициям, заложенным предыдущими поколениями преподавательского состава. Научно-исследовательская работа на кафедре агрохимии и почвоведения ведется по направлениям изыскания рациональных способов внесения удобрений, изучению новых форм минеральных, органических, микроудобрений, бактериальных препаратов, регуляторов роста, позволяющих снизить энергозатраты, связанные с применением удобрений, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду и получать экологически чистую растениеводческую продукцию. Проводятся научно-исследовательские работы по обоснованию доз и способов внесения куриного помета и их влияние на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур, повышения плодородия дерново-подзолистых почв в условиях конкретных сельскохозяйственных организаций, по определению эффективности известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы отходами производства ОАО «Белорусский цементный завод». На кафедре большое внимание уделяется методическому обеспечению учебного процесса. Учебник «Агрохимия» для высших учебных заведений с грифом Министерства образования, подготовленный преподавателями кафедры выдержал 4 издания. Издано более 30 учебных пособий с грифом Министерства образования и УМО, 5 справочников по удобрениям, 2 справочника агрохимика, 1 справочник агронома и 1 справочное пособие руководителям сельскохозяйственного производства. В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии чтут память о Дмитрие Николаевиче Прянишникове. 2025 г. стал наиболее знаменательным для увековечивания памяти ученого, поскольку отмечается не только 160-летие со дня рождения Дмитрия Николаевича, но и 185-летний юбилей академии.

За весь период своей деятельности Д. Н. Прянишниковым была собрана уникальная библиотека, которая состояла из его

трудов и приобретенных или подаренных книг других авторов. В 1951 г. библиотеке Белорусской государственной сельскохозяйственной академии была передана семьей ученого личная библиотека Д. Н. Прянишникова. Это собрание трудов заняло достойное место в фонде библиотеки академии. Издания были разделены на две коллекции: труды самого ученого — «Коллекция Д. Н. Прянишникова» и книги, собранные им, под названием «Библиотека Д. Н. Прянишникова».

В «Коллекции Д. Н. Прянишникова» 150 экземпляров изданий. Это книги, статьи из журналов и отдельные оттиски статей из трудов ученого. Самое раннее издание из этой коллекции — О распадении белковых веществ при прорастании / Д. Н. Прянишников. — М., 1892. — 59 с. На титульном листе есть автограф — «Многоуважаемому Ивану Алексеевичу Каблукову от автора». Коллекция содержит основные научные труды: Учение об удобрении: курс Д. Н. Прянишникова, составленный по его лекциям и под его редакцией студентами С. Кочергиным и Н. Тулайковым / Д. Н. Прянишников. — М.: Типолитография В. Рихтер, 1900. — 185 с. В библиотеке есть издания этого курса 1900, 1903, 1908, 1912, 1922 гг.

Частное земледелие: курс лекций / Д. Н. Прянишников. — 2-е изд. — М.: Типо-лит. В. Рихтер, 1901. — 398 с.

Белковые вещества. Общая химия белковых веществ. Главнейшие представители белков растительного и животного происхождения / Д. Н. Прянишников

Агрохимия. Общий курс: учебник для растениеводческих вузов / Д. Н. Прянишников. — М.; Л.: Сельхозгиз, 1934. — 399 с.

Растения полевой культуры (частное земледелие): учебник / Д. Н. Прянишников — 10-е изд., перераб. и доп. — М.: Сельхозгиз, 1938. — 759 с.

Азот в жизни растений и в земледелии СССР / Д. Н. Прянишников; Академия наук Союза ССР. — М.; Л.: Акад. Наук СССР, 1945. — 200 с.

Интерес представляет книга подведения итогов научных исследований за сто лет: К истории развития основных воззрений в агрономии (1806–1906): актовая речь / Д. Н. Прянишников. — М.: Университетская типография, 1906. — 60 с.

В круг интересов ученого входит не только наука, но и проблемы агрономического образования: «Почему у нас мало агрономов с ученой степенью?» / Д. Н. Прянишников. — Петровско-Разумовское, — 1909. — 11 с.

По высшим агрономическим школам Европы / Д. Н. Прянишников. — М.: Типолитограф. В. Рихтер, 1910. — 77 с.

Университеты и агрономия: речь, произнесенная при открытии секции агрономии на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей / Д. Н. Прянишников. М.: Типография О. Л. Сомовой, 1910. — 18 с.

В коллекции есть не только научные труды, но и очерки о людях, с которыми работал и общался Д. Н. Прянишников: «К. К. Гедройц как агрохимик»; «Памяти П. С. Коссовича». Есть книга, посвященная самому Дмитрию Николаевичу: К юбилею профессора Д. Н. Прянишникова (с портретом) / Д. Н. Прянишников; Московское Общество Сельского Хозяйства. — М.; Изд. редакции журн. «Вестник сельского хозяйства», 1925 (Учебная типография Центр. Дома Коммунистич. Воспитания Рабоч. Молод.). — 61 с. Из приветствия профессора Нейберга (Берлин), которое размещено в этой книге: «Немногим исследователям удаётся так глубоко и тонко проникнуть в свою науку как Вам, и при взгляде на Вашу жизнь, Вы с гордостью можете увидеть, как много означает имя «Прянишников» в научном мире».

Вторая коллекция, «Библиотека Д. Н. Прянишникова», насчитывает 2400 экземпляров изданий. Эти книги, статьи из журналов и отдельные оттиски статей из трудов собирал сам Дмитрий Николаевич. Более 700 книг получено им в дар от авторов с их автографами.

Фортунатов А.Ф. Сборник статей по общественной агрономии / А.Ф. Фортунатов; Казанский Губернский Земельный Отдел. — Казань: Государственное издательство, 1920 (2-я Государственная типография). — 87 с. (Дорогому Дмитрию Николаевичу Прянишникову. Искренний его почитатель).

Гедройц К.К. Опыты по влиянию стерилизации почвы на рост растений и на самую почву: труды сельскохозяйственной химической лаборатории в С. — Петербурге / Константин Коэтанович Гедройц. — С. — Петербург: Типография В. О. Киришаума

(отделение), 1908 — (Глубокоуважаемому Дмитрию Николаевичу Прянишникову от автора).

Д. Н. Прянишникову дарили книги со своими автографами известные ученые Н. И. Вавилов, С. К. Чаянов, В. И. Вернадский, В. В. Винер, В. Р. Вильямс, О. К. Кедров-Зихман, А. И. Стебут, А. П. Кравков, А. Г. Дояренко и др. Около 30 книг из коллекции имеют экслибрис, удостоверяющий владельца книги — Д. Н. Прянишникова. Многие книги, на которых нет экслибриса, подписаны вручную самим Дмитрием Николаевичем. Немало в библиотеке Д. Н. Прянишникова переводных книг зарубежных ученых, также с подписью учёного: Тайлор Э. Б. «Антропология»: введение к изучению человека и цивилизации / Э. Б. Тайлор; пер. И. С. Ивин; авт. предисл. П. Л. Лавров — 3-е изд., сверенное с последним англ. изд. — СПб.: Издание И. И. Биливина, 1908 (Типография М. Стасюлевича).

Книги коллекции «Библиотека Д. Н. Прянишникова» в основном сельскохозяйственной тематики, но есть также и научно-популярные книги. Например, старопечатное издание 1781 г., которое представляет интерес для любителей книжных памятников: «АПОФЕГМАТА», то есть кратких витиеватых и нравоучительных речей: в них же положены различные вопросы и ответы, жития и поступки, пословицы и разговоры различных древних Философов. — Санктпетербург: Императорская Академия Наук, 1781. — 123 с.

В коллекции научной и учебной литературы нашлось место и художественным книгам, например, сборнику лирических стихов и либретто оперы «Травиата» на итальянском языке.

В библиотеке академии находится более 2500 изданий из библиотеки Д. Н. Прянишникова. Часть книг оцифрована и знакомиться с ними можно в электронном каталоге УО БГСХА; работа по оцифровке продолжается.

Список литературы

1. Вавилов Н.И. «Жизнь коротка, надо спешить». — М.: Советская Россия, 1990. — С. 357–366.
2. Дмитрий Николаевич Прянишников. Жизнь и деятельность. — М.: Наука, 1972. — 272 с.

3. Прянишников Д.Н. Основные задачи в области химизации земледелия / Справочник по удобрениям. — М.: Госхимиздат, 1933. — С. 152.
4. Бородич Д.Н. Потребность основных почвенных типов Союза в удобрениях. По материалам полевых опытов Географической сети РИУ за 1928–1930 гг. / Географические опыты с минеральными удобрениями, проведенные НИУ за время с 1926 по 1930 г. Труды научного института по удобрениям им. Я.В. Самойлова. — Л.: Госкомиздат ЛО, 1933, Вып. 93. — С. 12–257.
5. Петербургский А.В. Жизнь и деятельность Д.Н. Прянишникова. — М.: Типография Тимирязевской с-х. академии, 1960. — 124 с.
6. Кедров-Зихман О.К. Научные основы и задачи известкования дерново-подзолистых почв // Удобрение и урожай, 1959, № 6. — С. 3–9.
7. Воробьев В.Б., Вильдфлуш И.Р., Мишура О.И., Радкевич М.Л., Коготко Ю.В., Батыршаев Э.М. К 100-летию кафедры агрохимии УО БГСХА // Вестник БГСХА, 2021, № 4. — С. 154–160.
8. Горбылёва А.И. Роль в развитии концепции расширенного воспроизводства почвенного плодородия в трудах А.М. Брагина / Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения А.М. Брагина, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, Заслуженного работника высшей школы БССР. — Горки: Белорусская ГСХА, 2009. — С. 3–5.
9. Каликинский А.А., Вильдфлуш И.Р., Мангутова Г.И., Камовская В.М. Ленточное внесение удобрений при возделывании кормовых культур // Химия в сельском хозяйстве, 1987, № 10. — С. 46–48.
10. Вильдфлуш И.Р., Персикова Т.Ф. Талантливый ученый-агрохимик. Памяти А. А. Каликинского (1915–1993) // Агрохимический вестник, 2006, № 1. — С. 31–32.
11. Каликинский А. А., Вильдфлуш И.Р. Оптимальное содержание подвижного фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах // Химия в сельском хозяйстве, 1990, № 3. — С. 37–39.

УДК 631.81:361.421

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ ВИДЕ

¹Н. В. Абрамов, ²М. В. Гунгер,
³С. А. Семизоров, ⁴С. В. Шерстобитов

^{1, 2, 3, 4} Россия, г. Тюмень ФГБОУ ВО «Государственный аграрный
университет Северного Зауралья»

¹ abramovnv@gausz.ru, ² gunger.mv@asp.gausz.ru,

³ semizorovsa@gausz.ru, ⁴ sherstobitovsv@gausz.ru

Аннотация. Установлена оптимальная норма 100–200 л/га припосевного внесения карбамидно-аммиачной смеси. Азотные удобрения в жидком виде (КАС) при внесении на планируемую урожайность яровой пшеницы на 3,0 т/га по сравнению с применением аммиачной селитры в гранулированном виде приводили к росту урожайности в течении трех лет на 0,7–1,0 т/га. Доказано, что переход на использование жидких азотных удобрений экономически оправдан с получением наибольшей чистоты прибыли 15226 руб./га и рентабельности производства зерна 65,7%.

Ключевые слова: аммиачная селитра; карбамидно-аммиачная смесь; дифференцированное внесение; яровая пшеница; урожайность; эффективность

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS IN SOLID AND LIQUID FORM

¹N.V. Abramov, ¹M.V. Gunger, ¹S.A. Semizorov,
¹S.V. Sherstobitov

^{1, 2, 3, 4} Russia, Tyumen Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education «Northern Trans-Urals State Agrarian University»

Abstract. The optimal rate of 100-200 l/ha of pre-sowing regulation of urea-ammonia mixture was established. Liquid nitrogen fertilizers (UAN) when applied to the standard yield of spring wheat by 3.0 t/ha compared to the use of ammonium nitrate in granulated form led to an increase in yield over three years by 0.7-1.0 t/ha. It has been proven that the transition to the use of liquid nitrogen fertilizers is economically justified, with the highest net profit of 15,226 rubles/ha and grain production profitability of 65.7%.

Keywords: ammonium nitrate; urea-ammonia mixture; differentiated application; spring wheat; yield; efficiency

В условиях Зауралья из агрохимических факторов почвенного плодородия азот находится в минимуме при формировании продуктивности агроценозов. Поэтому на долю азотных удобрений приходится до 70% суммарной прибавки урожая сельскохозяйственных культур. Азотные удобрения выпускаются преимущественно в гранулированном виде. Технология их применения достаточно хорошо изучена по природно-климатическим зонам России [1, 2, 3, 4]. Наряду с этим все больший интерес среди производителей в агробизнесе уделяется азотным удобрениям в жидком виде. При переходе на цифровые технологии появляется возможность более точного внесения рассчитанных доз жидких удобрений по элементарным участкам. Технология приготовления рабочего раствора доступна непосредственно в хозяйстве, для внесения КАС могут использоваться имеющиеся в хозяйстве культиваторы, сеялки, посевные комплексы, опрыскиватели различной конструкции, регулировка дозы подачи удобрений в зависимости от почвенных условий, вида и состояния растений автоматизирована [5, 6, 7, 8]. Вместе с этим требуется уточнение дозы припосевного внесения карбамидно-аммиачной смеси по природно-климатическим зонам страны, сравнительная оценка применения традиционных гранулированных и жидких азотных удобрений. Поэтому цель исследований заключалась в агроэкономической оценке технологии припосевного внесения аммиачной селитры в гранулированном виде и карбамидно-аммиачной смеси в жидком.

Исследования проведены в 2018–2024 гг. с гидротермическим коэффициентом 0,38–1,24 при недостаточном увлажнении в

период вегетации культурных растений в 2020, 2021, 2023 и 2024 годах, а в 2018, 2019, 2022 — при достаточном увлажнении. Почва опытного поля лугово-черноземная с содержанием гумуса в пахотном слое (0–30 см) — 6,81%, актуальной кислотностью 5,3, содержанием подвижного фосфора — 70,8 мг/кг почвы, калия — 80,2 мг/кг почвы. Повторность в опыте 3-кратная, размещение делянок рендомизированное, учетная площадь делянки 100 м². Уборка яровой пшеницы проводилась в фазу полной спелости яровой пшеницы с переводом к 100% чистоте и 14% влажности.

Аммиачную селитру в гранулированном виде и карбамидно-аммиачную смесь — в жидком, вносили дифференцированно по поверхностям с учётом содержания нитратного азота в почве на планируемую урожайность. Нитратный азот определялся по слоям 0–10, 10–20, 20–30 перед посевом яровой пшеницы (до внесения удобрений), в фазу кущения и перед уборкой согласно ГОСТа 27.894.4–88. Экономическую эффективность применения жидких и гранулированных азотных удобрений рассчитывалась по общепринятой методике (В.Г. Минеев, 2006).

Результаты и обсуждения. Согласно классической схемы азотные удобрения в твердом виде рекомендуется вносить ниже заделки семян на 3–5 см, чтобы не было ожога молодых корешков. На первом этапе исследований припосевного внесения КАС в жидком виде мы рассматривали вариант непосредственного внесения, впрыскивания жидких удобрений в ложе семян с дозой от 50 до 500 л/га рабочего раствора с интервалом 100 г/га (50, 100, 200, 300, 400, 500 л/га). в среднем за 2018–2019 гг. исследований наибольшее количество продуктивных стеблей — 740 шт./м² формировалось при дозе рабочего раствора 100 л/га, что соответствовало внесению 30 кг/га д.в. азота. На контрольном варианте (без удобрений) продуктивных стеблей было только 294 шт./м², а при норме рабочего раствора 50 л/га — 723 шт./м², увеличение нормы КАС до 200–500 л/га количество продуктивных стеблей яровой пшеницы снижалось до 586–716 шт./м². Об оптимальной норме карбамидно-аммиачной смеси 100 л/га свидетельствуют также количество зерне в колосе и масса зерне в колосе. Количество зерен в колосе превышало при этой норме остальные варианты опыта на 6–15 шт., а масса зерна в колосе на 0,41–0,65 г.

Данные показатели структуры урожая яровой пшеницы формировались благодаря оптимизации азотного режима почвы при внесении карбамидно-аммиачной смеси. В фазу кущения, когда протекал процесс образования вторичной корневой системы и закладки колоса, содержание нитратного азота в посевном слое 0–10 см составляло при норме КАС 100 л/га — 14, при норме 200 л/га — 19 мг/кг почвы, т.е. культурные растения имели среднюю и высокую обеспеченность азотом. На варианте с нормой 50 л/га обеспеченность нитратным азотом была низкой (8 мг/кг почвы), а увеличение нормы карбамидно-аммиачной смеси до 300 г/га (90 кг/га д.в. азота) привело к очень высокой обеспеченности зерновых — 30 мг/кг при внесении 400 и 500 л/га — соответственно 42 0 64 мг/кг почвы. Такая закономерность формирования содержания $N-NO_3$ объясняет получение максимальной урожайности яровой пшеницы при норме внесения КАС 100–200 г/га — 4,54–4,48 т/га (рисунок 1).

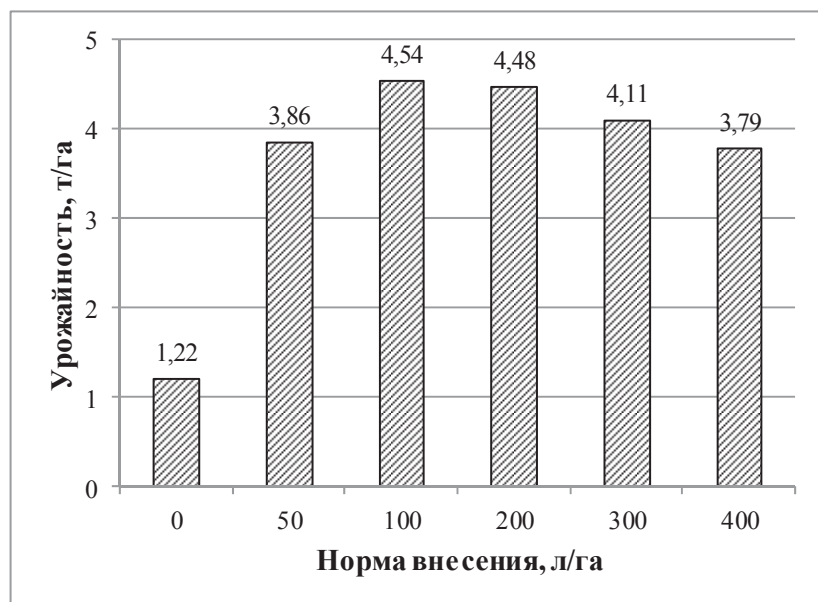


Рисунок 1 — Влияние нормы внесения КАС-30 на урожайность яровой пшеницы (среднее за 2018–2019 гг.)

Снижение нормы жидких удобрений до 50 л/га привело к снижению урожайности до 3,86 т/га, а при её увеличении до 300–500 л/га урожайность получена 3,79–4,11 т/га (НСР₀₅ — 0,41 т/га). Оптимизация минерального питания благотворно влияла и на качество зерна яровой пшеницы. Клейковины содержалось в зерне больше при норме КАС 100 л/га — 34,6%, согласно ГОСТа 52554–2006 зерно относилось к 1 классу, а с нормой 200, 300 л/га — ко 2, зерно при остальных изучаемых нормах КАС — только к 3 классу.

Во втором этапе наших исследований выявлено преимущество по влиянию на урожайность карбамидно-аммиачной смеси в сравнении с аммиачной селитрой в гранулированном виде при норме их припосевного внесения на планируемую урожайность 3,0 т/га. Средняя урожайность за 2020–2022 гг. применения КАС составила 3,1 т/га, это единственный вариант в опыте где получена планируемая урожайность.

Увеличение нормы карбамидно-аммиачной смеси на планируемую урожайность 4,0 и 5,0 т/га приводило к снижению её на 0,4 т/га, что объясняется высокой концентрацией азота удобрений в месте расположения семян (рисунок 2).

Норма карбамидно-аммиачной смеси на планируемую урожайность 3,0 т/га соответствовала внесению в среднем за три года 38,9 кг/га действующего вещества азота, а при внесении аммиачной селитры 32,3 кг/га д.в. Расчеты показали, что выход зерна на 1 кг внесенного КАС в физической массе составил 6,2 кг, на 1 кг внесения аммиачной селитры — 4,4 кг. Таким образом, окупаемость карбамидно-аммиачной смеси увеличивается на 29% относительно припосевного внесения аммиачной селитры в гранулированном виде. Это послужило основанием на 3 этапе исследований снизить расчетную норму КАС на 29%. Даже при такой корректировке нормы карбамидно-аммиачной смеси на планируемую урожайность 3,0 т/га (27,2 кг/га д.в.) урожайность яровой пшеницы в среднем за 2023–2024 гг. была равной урожайности с использованием аммиачной селитры (2,26–23,0 т/га).

Экономическая сравнительная оценка подтверждает целесообразность применения в производственных условиях аграрного сектора карбамидно-аммиачной смеси. В общей структуре затрат

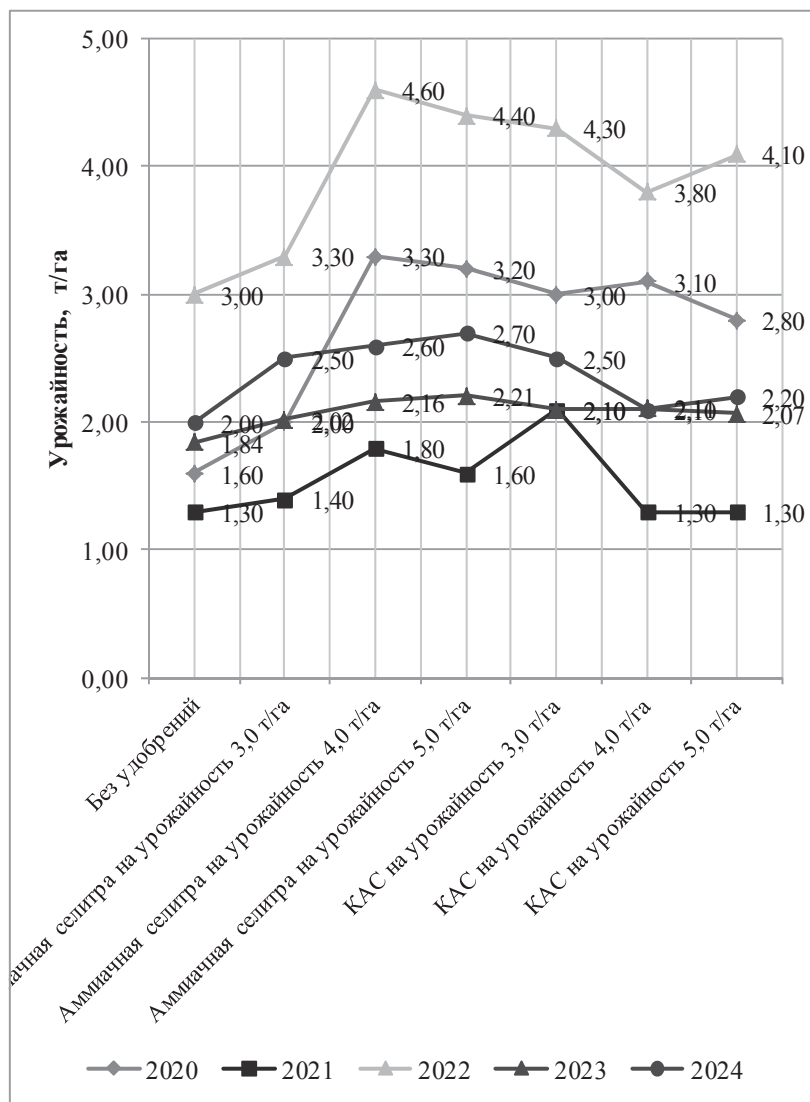


Рисунок 2 - Урожайность яровой пшеницы в зависимости от нормы и вида азотных удобрений, т/га

возделывания яровой пшеницы 20 337 – 30 565 руб./га на долю минеральных удобрений при норме на планируемую урожайность 3,0 т/га приходилось 12,3–12,5% [5]. С увеличением нормы

КАС и аммиачной селитры на планируемую урожайность 4,0 и 5,0 т/га затраты на приобретение и внесение их составляли 32,1–33,7% от общих расходов.

Применение КАС при посеве с нормой на планируемую урожайность 3,0 т/га увеличило не только урожайность яровой пшеницы, но и позволяло получению зерна 1 класс качества, в других вариантах опыта зерно получали только 3 класса. Это отразилось на росте прибыли до 15 226 руб./га. Реализация зерна высокого качества и получение его с наименьшей себестоимостью 7 478 руб./т обеспечивали наибольшую рентабельность производства 65,7% (таблица 1).

Таблица 1 — Сравнительная экономическая эффективность применения КАС и аммиачной селитры (среднее за 2020–2022 гг.)

Вариант	Затраты, руб./га		Чистая прибыль, руб./га	Себестоимость зерна, руб./т	Рентабельность, %
	Общее	в т.ч. на удобрение			
Без удобрений (контроль)	20 337	0	772	10 169	3,8
Аммиачная селитра на 3,0 т/га	23 228	2 891	3 172	10 558	12,7
Аммиачная селитра на 4,0 т/га	26 737	6 400	11 663	8 355	43,6
Аммиачная селитра на 5,0 т/га	29 937	9 600	7 263	9 657	24,3
КАС на 3,0 т/га	23 183	2 846	15 226	7 478	65,7
КАС на 4,0 т/га	27 481	7 144	4 919	10 187	17,9
КАС на 5,0 т/га	30 565	10 288	1 835	11 320	6,0

По погодным условиям 2023–2024 гг. при ГТК вегетационного периода 0,45 и 0,90 урожайность яровой пшеницы при

использовании удобрений была в интервале 2,11–2,46 т/га и составляла от планируемой 42,8–76,7%. При цене реализации 12 тыс. руб./т, чистая прибыль на варианте использования КАС с скорректированной нормой на планируемую урожайность 3,0 т/га составила 5 242 руб./га, а при использовании аммиачной селитры — 3 892 руб./га. Практически при равной урожайности 2,26–2,30 т/га рентабельность производства зерна с применением КАС была выше на 6,7%.

Заключение

Оптимальная норма карбамидно-аммиачной смеси в жидком виде находится в рамках 100–200 л/га. Этому способствует благоприятный азотный режим в фазу кущения, N-NO₃ в посевном слое (0–10 см) имелось на уровне средней и высокой обеспеченности культурных растений (14 и 19 мг/кг почвы). Здесь получена наибольшая урожайность яровой пшеницы 4,48–4,54 т/га с зерном первого и второго класса при содержании клейковины 34,6–31,4%.

Припосевное внесение карбамидно-аммиачной смеси с нормой на планируемую урожайность 3,0 т/га увеличивало урожайность яровой пшеницы в среднем за три года на 0,9 т/га по сравнению с использованием аммиачной селитры в гранулированном виде. Выход зерна на 1 кг внесенного КАС составил 6,2 кг, а при использовании аммиачной селитры — 4,4 кг. Коэффициент отдачи от использования жидких азотных удобрений позволяет снизить их норму по сравнению с удобрениями в твердом виде на 29%.

Экономически целесообразно для припосевного внесения карбамидно-аммиачная смесь применять с нормой на планируемую урожайность 3,0 т/га, что позволяет получить зерно с наименьшей себестоимостью 7 478 руб./т и наибольшим уровнем рентабельности его производства 65,7%.

Список литературы

1. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирский ГАУ, РАСХН. — Новосибирск, 2013. — 790 с.

2. Назарбек У. Б. Анализ состояния мирового рынка минеральных удобрений // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 2–1. С. 7–12.

3. Абрамов Н. В. Система применения удобрений // Система адаптивно-ландшафтного земледелия в природно-климатических зонах Тюменской области. Тюмень. 2019. С. 135–167.

4. Сычёв В. Г. Факторы эффективности минеральных удобрений // Плодородие. 2025. № 3. С. 4–7.

5. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Гунгер М. В. Эффективность припосевного внесения карбамидно-аммиачной смеси в условиях Северного Зауралья // Земледелие. 2023. № 4. С. 18–22. doi: 10.24412/0044-3913-2023-4-18-22

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВАТОРОВ
БИОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АЭРОБНОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОСТНЫХ СМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД**

Т. Ю. Анисимова

*Всероссийский научно-исследовательский институт органических
удобрений и торфа — филиал федерального государственного
бюджетного учреждения «Верхневолжский федеральный научный центр»,
301690 Россия, Владимирская обл., Судогодский район,
д. Вяткино, ул. Прянишникова, 2. E-mail: anistan2009@mail.ru*

Аннотация. Согласно результатам исследований использование интенсивной аэробной переработки в сравнении с традиционными технологиями компостирования позволило сократить в компостах на основе ОСВ потери органического вещества, азота вдвое. Гарантированное обеззараживание компостной смеси на основе ОСВ, неблагоприятной по санитарно-гигиеническим показателям, отмечалось при ее аэробной переработке в интенсивном режиме при температуре 55⁰ С и выше в течение 48 часов.

Ключевые слова: осадки сточных вод; торф; помет; микробные удобрения; ускоренное компостирование; температурные режимы; биокомпосты

**EFFICIENCY OF BIOTHERMAL PROCESS ACTIVATORS FOR
AEROBIC PROCESSING OF COMPOST MIXTURES BASED ON
SEWAGE SLUDGE**

T. Y. Anisimova

*All-Russian scientific-research Institute of organic fertilizers and peat —
branch of Federal state budgetary scientific institution " Upper Volga Federal
agricultural research centre", Russia, Vladimir*

Annotation. According to the research results, the use of intensive aerobic processing, in comparison with traditional composting technologies, made it possible to halve the loss of organic matter and nitrogen in composts based on sewage sludge. Guaranteed sterilization of the compost mixture based on sewage sludge, which is unsatisfactory in terms of sanitary and hygienic indicators, was observed during its aerobic processing in an intensive mode at temperatures of 55°C and above for 48 hours, using poultry manure as an activator.

Keywords: sewage sludge; peat; poultry manure; microbial fertilizers; accelerated composting; temperature regimes; biocomposts

На 01.01.2023 г. в России объемы применения органических удобрений составляли 70,6 млн т, или 1,5 т/га посева (0,6–0,7 т/га пашни). Для бездефицитного баланса гумуса в почвах необходимо вносить 8–10 т/га органических удобрений, а фактическое применение органических удобрений составляет 9,2% от потребности [1]. Увеличить объемы применения органических удобрений можно за счет использования органосодержащих отходов, в т.ч. обладающих потенциально высокой удобрительной способностью, таких как птичий помет и ОСВ. Удобрения на основе помета и ОСВ содержат более высокое количество органического вещества и биогенных элементов по сравнению с навозом. Вместе с тем они являются проблемными удобрениями, их относят к биологически опасным отходам (второй — третий класс опасности), т.к. они, как правило, содержат ионы и токсичные соединения тяжелых металлов, патогенную микрофлору, яйца гельминтов.

Ежегодный объем накопления осадков сточных вод (ОСВ), который в стране превышает 100 млн т. влажностью 97–98% [2]. Сухое вещество ОСВ на 50–65% состоит из органического вещества. В 1 т ОСВ содержится до 20 кг NPK, что превышает их содержание в подстилочном навозе [3]. В РФ в настоящее время основная масса ОСВ подвергается складированию и захоронению на специально оборудованных полигонах. Незначительное их количество сжигается. В качестве удобрений в сельскохозяйственном производстве используется менее 7 % всей массы ОСВ [2,3]. Основными факторами, лимитирующими производство органических удобрений на основе ОСВ, являются: низкий уровень техно-

логических решений; отсутствие специализированной техники их переработки; высокие риски содержания в составе осадков токсичных соединений; значительный их инфекционный и инвазионный потенциал.

Одной из современных и наиболее перспективной, экологически безопасной технологией является твердофазная интенсивная аэробная переработка органосодержащих отходов с производством органических удобрений — биокомпостов. До сих пор отсутствуют сведения об оптимальных режимах и сроках компостирования при интенсивной аэробной переработке ОСВ и птичьего помета.

Для повышения эффективности компостирования используются биологические средства, позволяющие ускорить процесс деструкции органических соединений, повысить доступность биогенных элементов растениям. К сожалению, до сих пор не изучена и не установлена эффективность использования микробных удобрений и самого процесса интенсивной биоферментации на повышение удобрительного потенциала биокомпостов.

Своевременность нашего исследования обосновывается тем, что проблема удобрений вплотную смыкается с проблемой окружающей среды и созданием безотходного экологически чистого производства. К сожалению, до сих пор остается не решенным ряд вопросов, связанных с производством и применением этого вида органического удобрения.

Внедрение технологии ускоренного компостирования позволяет за 7–15 дней в результате активизации микробиологических процессов осуществить надежное, гарантированное обеззараживание, обезвреживание, детоксикацию, дезодорирование компостной массы на основе побочной продукции животноводства. Преимуществами технологии являются простота в эксплуатации технологического оборудования, низкие энергозатраты, высокая производительность, окупаемость в короткие сроки. Эффективность использования различных режимов аэробной переработки ОСВ в интенсивном режиме в настоящее время не изучена.

Цель исследований — определение эффективности использования различных режимов интенсивной аэробной переработки компостных смесей на основе ОСВ в высококачественные, экологически безопасные биокомпосты.

Методика исследований. Высокая плотность ОСВ, которая подавляет развитие биотермических процессов, является одной из причин крайне ограниченного их использования при производстве биокомпостов [4,5]. В исследованиях в целях снижения плотности ОСВ станции биологической очистки г. Владимира использовали верховой торф (т/п Второвское Владимирской обл.) в соотношении 1:1. Для ускорения деструкции органических соединений отходов и повышения удобрительного потенциала биокомпостов в компостную смесь на основе ОСВ и торфа добавляли активаторы биотермических процессов — птичий помет птицефабрики «Александровская» (Владимирская обл.) и микробные удобрения Омуг и Бамил (ВНИИСХМ, Ст.-Петербург). Проводили наблюдения за температурным режимом, динамикой изменения физической массы, содержания органического вещества, основных биогенных элементов, определяют сроки санации компостных смесей.

Требования к компостным смесям: влажность — 60–70%; температура смеси не ниже 10°C; плотность смеси — 0,65 т/м³.

Твердофазную интенсивную аэробную переработку компостных смесей проводили в стационарной установке, расположенной на площадке производственных испытаний ВНИИОУ. Размеры установки: 9х4 м, высота — 3 м. В оцинкованном полу установки предусмотрены перфорации для поступления воздуха. Управление технологическим процессом ручное, ежедневная подача воздуха проводилась с помощью компрессора 2АФ мощностью 2,5 кВт с интенсивностью 2,3–2,7 м³/мин в течение 4 часов (первая закладка), 6 часов (2-я закладка) и 24 часов (3-я закладка). Длительность аэробной переработки компостных смесей в интенсивном режиме составляла 15 суток.

Схема опыта:

- 1) ОСВ + торф — контроль;
- 2) ОСВ + торф + птичий помет (10 % от общего веса смеси);
- 3) ОСВ + торф + микробное удобрение Омуг (10 % от общего веса смеси);
- 4) ОСВ + торф + микробное удобрение Бамил (10 % от общего веса смеси);

Повторность — пятикратная.

Масса исходной компостной смеси — 150 кг. Исходная влажность компостных смесей составляла 69–73%; соотношение C/N — 26–35. Компоненты компостных смесей измельчали до размеров 10–12 мм, тщательно перемешивали и помещали в контейнеры из полистирола объемом 0,2 м³ с перфорированными днищем и стенками, затем контейнеры устанавливали в биоферментационную установку. В процессе интенсивной аэрации замеры температуры проводили каждый час в среднем слое компостных смесей с помощью контактного цифрового термометра «Hanna HI 98509 Checktemp». В компостных смесях и биокомпостах определяли: pH — по ГОСТ 27979; влажность — ГОСТ 26713; содержание органического вещества — ГОСТ 27980; валового азота — ГОСТ 26715; аммиачного, нитратного азота — ГОСТ Р ИСО 15604; — фосфора, общего — ГОСТ 26717; калия общего — ГОСТ 26718; подвижного фосфора — ГОСТ Р 54650, ПНД Ф 16.2:2.373; подвижного калия — ГОСТ Р 54650.

В целях репрезентативности исследований при изучении эффективности обеззараживания компостных смесей на основе ОСВ и торфа в технологическом процессе интенсивной аэрации использовали тест-объекты, которыми служили навески компостных смесей весом 1 кг, загрязненные бактериями группы кишечной палочки (*Escherichia coli* 1257), сальмонеллы (*Salmonella typhi*), стафилококков (*Staphylococcus aureus* 209 Р) из расчета 1 и 10 тыс./г., что соответствовало значениям коли-титра 0,001 и 0,0001. Тест-объекты помещали в капроновые мешки и закладывали в средние слои компостных смесей. При первой и второй закладках тест-объекты извлекали после 15 дней переработки. При третьей закладке пробы по 200 г тест-объектов извлекали через 24, 48, 72 часа после достижения в компостной смеси температуры, превышающей 55⁰ С. Учет численности, выживаемости санитарно-показательных микроорганизмов проводили согласно общепринятым методикам, с последующим их посевом на питательных средах. При определении общего микробного числа использовали мясопептонный агар; коли-титра — среду Кесслера; титра анаэробов — среду Виль-

сона-Блера; сальмонелл — среду Висмут сульфит агар; БГКП — среду Эндо; стафилококков — среду Чапмена. Оценку степени обеззараживания компостных смесей на основе ОСВ и торфа проводили по ГОСТ Р 55570 [9], ГОСТ Р 54651 [7], СанПиН 2.1.3684 [8], МР ФЦ/4022 от 24.12.2009 [14], Регламента ЕС 2019/1009 [10], фитотоксичность компостных смесей и биокомпостов определяли биотестированием с использованием экспресс-метода [11].

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно результатам исследований в условиях ежедневной 4 и 6 часовой аэрации в интенсивном режиме в компостных смесях контрольного варианта (ОСВ+торф) биотермические процессы развивались на низком уровне. К примеру, при ежедневной 6-часовой непрерывной аэрации на протяжении 15 суток температура в компостной смеси не превышала 32⁰ С. Температурный максимум отмечался на 6 сутки биотермической переработки. Дополнительное использование активаторов компостирования — птичьего помета, микробных удобрений — Омуга, Бамила позволило ускорить развитие биотермических процессов в компостной смеси ОСВ + торф. При применении птичьего помета температура повышалась до 40⁰ С. Применение микробных удобрений Омуга и Бамила способствовало более быстрому развитию биотермических процессов, что позволило повысить температуру в компостной смеси до 49⁰ С. Температурный максимум при их применении на 2–3 суток опережал его значения при переработке контрольной компостной смеси (без добавления активаторов биотермической переработки). Применение Омуга, Бамила также позволило длительное время (на 2–4 дня) поддерживать более высокую температуру в перерабатываемой компостной смеси по сравнению с контролем. В компостной смеси с микробными активаторами компостирования на 2 суток быстрее исчезал специфический неприятный запах, характерный для ОСВ.

Ежедневная 4- и 6- часовая аэрация компостных смесей в интенсивном режиме сопровождалась изменениями их агрохимических свойств (таблица 1).

Таблица 1 — Влияние интенсивной аэробной переработки компостных смесей на основе осадков сточных вод на агрохимические свойства биокомпостов (вторая закладка)

Показатель	Значение	Вариант			
		ОСВ+т орф	ОСВ+т орф+ помет	ОСВ+т орф+ Омуг	ОСВ+ торф+ Бамил
Содержание органического вещества, %	Компостная смесь	35,6	42,2	39,4	40,0
	Биокомпост	31,3	35,5	32,3	32,7
	± %	-12,0	-16,0	-18,0	-18,2
Валовое содержание азота, %	Компостная смесь	1,44	1,54	1,48	1,50
	Биокомпост	1,25	1,29	1,27	1,28
	± %	-13,0	-14,0	-15,0	-16,0
Валовое содержание фосфора, P_2O_5 , %	Компостная смесь	1,34	1,52	1,66	1,58
	Биокомпост	1,32	1,49	1,61	1,52
	± %	-1,6	-1,9	-3,0	-3,8
Валовое содержание калия, K_2O , %	Компостная смесь	0,48	0,54	0,58	0,56
	Биокомпост	0,48	0,53	0,57	0,55
	± %	0	-1,6	0,17	-1,1
рН	Компостная смесь	7,2	7,8	7,4	7,4
	Биокомпост	6,6	6,8	6,6	6,5

В биокомпостах в сравнении с исходными компостными смесями снижались влажность, содержание органического вещества, общего и аммиачного азота. В сравнении с традиционными технологиями, использование которых сопровождается 30–40% потерями органического вещества, соединений азота, аэробной твердофазной переработки в интенсивном режиме позволила снизить потери органического вещества, азота из компостных смесей на основе ОСВ и торфа вдвое, что, вероятно, обусловлено резким сокращением сроков их переработки с 2–3 месяцев до 10–

15 суток. В результате аэробной переработки в интенсивном режиме повышалась кислотность биокомпостов, вероятно, за счет увеличения содержания нитратов. Валовое содержание калия в биокомпостах не изменялось, однако повышалось содержание подвижного калия. Наиболее очевидные изменения агрофизических и агрохимических свойств биокомпостов отмечены в вариантах с использованием микробных удобрений, в условиях наивысшей интенсивности биотермических процессов.

Агрохимический состав биокомпостов всех вариантов опыта не оказал негативного воздействия на всхожесть семян и рост проростков редиса, что свидетельствовало об отсутствии фитотоксичности биокомпостов.

Согласно результатам микробиологических исследований численность микроорганизмов с разным таксономическим статусом в биокомпостах на основе ОСВ зависела от состава компостных смесей и режимов интенсивной аэрации в компостных смесях и биокомпостах являлись микроорганизмы, трансформирующие азотсодержащие соединения (таблица 2). В компостных смесях доминирующими по численности являлись микроорганизмы, усваивающие органический азот, их число увеличилось в 2–5 раз по сравнению с контролем, в то время, как количество микробиоты, усваивающей минеральный азот, повышалось всего в 1,1–1,6 раза, что, вероятно, объясняется незначительным содержанием легкодоступных минеральных соединений азота в компостных смесях. Использование коэффициентов минерализации-иммобилизации (соотношение численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота к числу микроорганизмов, использующих органические формы азота) [12] позволило определить функциональную направленность микробиологических процессов в компостных смесях в начале ферментации, которая свидетельствовала об интенсивной деструкции органического вещества (коэффициент = 0,43–0,65 при 1,1 в контроле). Параметры коэффициента минерализации-иммобилизации в биокомпостах (1,22–1,84 при 0,84 в контроле) свидетельствовали о преобладании процессов синтеза органического вещества над его деструкцией в условиях аэробной переработки.

К концу ферментации численность целлюлозоразлагающих бактерий в биокомпостах всех вариантов возросла в 2–3 раза по сравнению с исходным их количеством в компостных смесях. Наибольшее увеличение их численности отмечалось в биокомпостах на основе компостных смесей, активированных Бамилом. Также в готовых биокомпостах значительно снизилось количество грибов, выращенных на среде Чапека, что свидетельствует о влиянии режимов аэрации и применения активаторов на подавление патогенов.

Согласно результатам санитарно-гигиенических исследований, исходная компостная смесь ОСВ+торф не содержала патогенных, болезнетворных микроорганизмов, вместе с тем, характеризовалась крайне высокой микробной численностью. В 1 г каждой неинфицированной смеси содержание бактерий группы кишечных палочек, кокковой микрофлоры превышало десятки и сотни миллионов. Учитывая положение [13], в соответствии с которым органические удобрения по санитарно-гигиеническим показателям должны соответствовать требованиям, предъявляемым к чистой почве сельскохозяйственных угодий, рекультивируемых территорий, данные компостные смеси по степени эпидемиологической опасности, по показателям коли-титра, титра анаэробных (0,001–0,0001) оценивались как «опасные», «чрезвычайно опасные» [8].

Добавление к исходной компостной смеси ОСВ + торф (1:1) птичьего помета, биологических активаторов — микробных удобрений Омуг, Бамил с последующей аэробной твердофазной переработкой в интенсивном режиме в течение 15 суток при температурах 32°, 40° и 49 °С не позволило снизить в биокомпостах численность бактерий группы кишечных палочек до нормативных ограничений, установленных Регламентом ЕС № 2019/1009.

В соответствии с результатами исследований, ежедневная 4 и 6 часовая аэробная переработка в интенсивном режиме в течение 15 суток снизила контаминацию компостных смесей патогенными и условно патогенными микроорганизмами: *Salmonella typhi* murium; *Escherichia coli* 1257; *Staphylococcus aureus* 209P, однако не обеспечила их полное обеззараживание (таблицы 3, 4).

Таблица 2 — Влияние интенсивной 15-дневной биотермической переработки компостных смесей на основе ОСВ и торфа на численность микроорганизмов в исходных смесях и биокомпостах

Вариант	Численность микроорганизмов, 10 ⁶ КОЕ/г сухого вещества								
	Использующие органические формы азота на МПА	Использующие минеральные формы азота на среде КАА			Целлюлозо- разрушающие на среде Гетчинсона				Грибы на среде Чапека
		общее	в том числе		общее	в том числе			
			бактерии	актиномицеты		бактерии	грибы	актиномицеты	
Компостная смесь									
ОСВ + торф (контроль)	596,0	656,2	615,8	40,4	0,35	0,08	0,06	0,21	0,74
ОСВ + торф + помет	1735,7	739,8	595,3	144,5	0,40	0,14	0,11	0,15	0,88
ОСВ + торф + Омуг	1584,2	1041,6	1019,3	22,3	0,64	0,30	0,10	0,24	1,03
ОСВ + торф + Бамил	1145,6	665,2	634,0	31,7	0,50	0,06	0,06	0,38	1,01
Биокомпосты									
ОСВ + торф (контроль)	377,1	318,7	337,6	41,1	1,01	0,03	0,02	0,96	0,25
ОСВ + торф + помет	505,0	615,0	372,7	242,3	1,3	1,18	-	0,12	0,38
ОСВ + торф + Омуг	431,8	625,1	252,3	72,8	0,95	0,51	0,19	0,25	0,46
ОСВ + торф + Бамил	859,9	1580,7	795,0	785,1	1,74	0,02	0,02	1,7	0,17

Таблица 3 — Влияние ежедневной 6 часовой аэробной переработки в интенсивном режиме в течение 15 суток на эпидемиологическую опасность инфицированных (0,001) компостных смесей на основе ОСВ и торфа

Показатели эпидемиологической опасности	Виды компостных смесей, биокомпостов							
	Исходные компостные смеси				Биокомпосты (переработанные компостные смеси)			
	ОСВ + торф	ОСВ + торф + птичий помет	ОСВ + торф + Омуг	ОСВ + тор + Бамил	ОСВ + торф	ОСВ + торф + птичий помет	ОСВ + тор + Омуг	ОСВ + тор + Бамил
Общее микробное число, ОМЧ (млн / 1 г)	606,0	844,0	708,0	688,0	432,0	526,0	466,0	582,0
Коли-титр (г)*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001
Титр анаэробов (г)**	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001
Наличие сальмонелл (КОЕ, тыс. / г) ***	104,0	194,0	147,0	136,0	-	-	-	-
Наличие БГКП (КОЕ, тыс. / г)	252,0	346,0	286,0	299,0	190,0	138,0	284,0	216,0
Наличие стафилококков (КОЕ, тыс. / г)	60,0	76,0	66,0	70,0	4,2	10,0	5,0	4,8
Температурный максимум, T _{max} , С°	32	40	49	49				

Примечание. Норма: * — 1,0 и выше; ** — 0,01 и выше; *** — отсутствие.

Таблица 4 — Влияние ежедневной 6 часовой аэробной переработки в интенсивном режиме в течение 15 суток на эпидемиологическую опасность инфицированных (0,0001) компостных смесей на основе ОСВ и торфа

Показатели эпидемиологической опасности	Виды компостных смесей, биокомпостов							
	Исходные компостные смеси				Биокомпосты (переработанные компостные смеси)			
	ОСВ+ торф	ОСВ+ торф+ птичий помет	ОСВ+ торф+ Омуг	ОСВ+ торф+ Бамил	ОСВ+ торф	ОСВ+ торф + птичий помет	ОСВ+ торф+ Омуг	ОСВ+ торф+ Бамил
ОМЧ, (млн / 1 г)	612,0	846,0	726,0	708,0	510,0	516,0	616,0	562,0
Коли-титр (г)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001
Титр анаэробов (г)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001
Наличие сальмонелл (КОЕ, тыс. / г)	160,0	166,0	172,0	164,0	-	-	-	-
Наличие БГКП (КОЕ, тыс. / г)	314,0	462,0	398,0	426,0	252,0	396,0	340,0	380,0
Наличие стафилококков (КОЕ, тыс. / г)	84,0	120,0	106,0	88,0	7,1	13,0	10,0	8,2
T _{max} , С°	32	40	49	49				

Примечание. Норма: * — 1,0 и выше; ** — 0,01 и выше; *** — отсутствие.

В исследованиях при проведении третьей закладки были установлены условия гарантированной санации инфицированных компостных смесей на основе ОСВ. Круглосуточная аэрация в

интенсивном режиме на 4 сутки обеспечила повышение температуры в компостной смеси до 55 °С. Согласно результатам ветеринарно-санитарных исследований на 5 сутки круглосуточной аэробной переработки, через 24 часа после достижения указанной температуры отмечалось полное обеззараживание компостных смесей от *Staphylococcus aureus* 209Р, через 48 часов от *Salmonella typhi murium*; *Escherichia coli* 1257.

Таким образом, в сравнении с традиционными технологиями производства органических удобрений аэробная твердофазная переработка в интенсивном режиме позволила в компостных смесях на основе ОСВ и торфа при соотношении основных компонентов 1:1 снизить потери органического вещества и общего азота более, чем в 2 раза.

Аэробная твердофазная переработка не контаминированных патогенной микрофлорой компостных смесей на основе ОСВ+торф в интенсивном режиме в течение 15 суток при температурах 28⁰, 32⁰ С позволила производить биокомпосты, удовлетворяющие требованиям ГОСТ Р 55570, ГОСТ Р 54651. Вместе с тем из-за высокой численности бактерий группы кишечных палочек данные биокомпосты не соответствовали нормативным требованиям Регламента ЕС по удобрениям № 2019/1009.

Ускоренная непрерывная в течение 4–6 часов ежедневная аэробная твердофазная переработка загрязненной патогенной микрофлорой компостных смесей на основе ОСВ+торф в течение 15 суток при температурах 28⁰, 32⁰ С не обеспечивала их надежное обеззараживание от патогенной, условно патогенной микрофлоры (*Salmonella typhi murium*; *Escherichia coli* 1257; *Staphylococcus aureus* 209Р).

Ежедневная 6 часовая аэробная твердофазная переработка компостной смеси ОСВ+торф с дополнительным применением активаторов компостирования — птичьего помета, микробных удобрений Омуга, Бамила в интенсивном режиме в течение 15 суток при температурах ниже 55 °С не гарантировала их надежного обеззараживания.

В целях производства обеззараженных биокомпостов, соответствующих нормативным требованиям ГОСТ Р 55570, ГОСТ Р 54651, аэробная твердофазная переработка инфицированных сме-

сей на основе ОСВ+торф в интенсивном режиме должна проводиться круглосуточно при температуре 55 °С и выше в течение не менее 48 часов.

Список литературы

1. Сельское хозяйство в России. 2023. Статистический сборник. М.: Росстат, 2023. — 103 с.
2. Работа с осадками сточных вод [Электронный ресурс] - Режим доступа proza.ru/2010/02/20/1199.htm, свободный. — (дата обращения 02.01.2023).
3. Зайнуллин Р.Р., Галяутдинов А. А. Современное состояние и перспективы утилизации осадков сточных вод // «Инновационная наука». 2016. № 6. С.74–76.
4. Тихонова И.О. Утилизация иловых осадков в экономике замкнутого цикла - опыт Германии [Электронный ресурс]-Режим доступа otxod.com/files/materials/ htm, свободный. — (дата обращения 23.03.2022).
5. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. М.: Бином. 2007. 311 с.
6. ГОСТ Р 55570-2013. Удобрения органические. Биокомпосты. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
7. ГОСТ Р 54651–2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с.
8. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. [Электронный ресурс]. — Режим доступа docs.cntd.ru/document/573536177 htm свободный. — (дата обращения 15.02.2022).
9. Методы контроля: биологические и микробиологические факторы, методы микробиологического контроля почвы методические рекомендации от 24.12.2004 (МР ФЦ/4022) [Электронный ресурс]. — Режим доступа normativ.kontur.ru/document, htm свободный. — (дата обращения 15.02.2022).

10. Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2019/1009 от 5 июня 2019 г. "Об установлении правил размещения удобрений на рынке ЕС и об изменении Регламентов (ЕС) 1069/2009 и (ЕС) 1107/2009, а также об отмене Регламента (ЕС) 2003/2003" [Электронный ресурс]. — Режим доступа base.garant.ru/74313554/htm свободный. — (дата обращения 15.07.2022).
11. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. [Электронный ресурс]. — Режим доступа Internet — Law.ru/gosts/gost/48851/htm свободный. — (дата обращения 23.03.2022)
12. Устойчивость микробных комплексов почвы к антропогенным факторам среды / под ред. Л. И. Домрачевой, Т. Я. Ашихминой. — Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. 254 с. DOI: 10.31140/book-2018-05.
13. Соколов М.С., Жариков Г.А., Соколова Л.М. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству агрохимикатов при их государственной регистрации // Агро XXI. 2003. № 1. С. 138–142.

УДК 631.452: 631.582: 631.8

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ В АГРОЦЕНОЗАХ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

Н. Ф. Балабанова, Н. А. Воронкова

*ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Россия, г. Омск,
e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru, voronkova.67@bk.ru*

Аннотация: Приведены результаты мониторинга состояния органического вещества почв агроценозов по зонам Омской области. Объектом исследования являлась серая лесная и лугово-черноземная почва. Исследования выполнены в длительных стационарных опытах, заложенных в условиях южной лесостепной и подтаежной зон. Установлено, что в настоящее время, несмотря на возделывание культур в системе севооборота с применением занятого пара, внесением соломы и минеральных удобрений наблюдается тенденция снижения содержания органического вещества в почве, обусловленная недостаточной компенсацией его расхода.

Ключевые слова: лугово-черноземные и серые лесные почвы, органическое вещество, севооборот, удобрения

ORGANIC SUBSTANCE OF SOILS IN AGROCENOSSES OF THE OMSK PRIIRTYSHYE

N.F. Balabanova, N.A. Voronkova

*Omsk Agricultural Research Center, Omsk
e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru, voronkova.67@bk.ru*

Annotation: The results of monitoring the state of organic matter in soils of agrocenoses in the zones of the Omsk region are presented. The object of the study was gray forest and meadow-chnozem soil. The research was carried out in long-term stationary experiments

based in the conditions of the southern forest-steppe and subtaiga zones. It has been established that at present, despite the cultivation of crops in the crop rotation system using employed steam, straw and mineral fertilizers, there is a tendency to decrease the content of organic matter in the soil due to insufficient compensation for its consumption.

Keywords: meadow-chernozem and gray forest soils, organic matter, crop rotation, fertilizers

Сохранение и рациональное использование плодородия земель сельскохозяйственного назначения является основным условием развития агропромышленного комплекса. Органическое вещество почвы является одним из важных условий стабильности агроэкосистем, так как оно формирует и поддерживает режимы, свойства и функции почвы, определяющие ее плодородие [1–3]. В настоящее время из-за возросшего антропогенного влияния в агроценозах, а также уменьшения количества вносимых удобрений отмечено снижение содержания органического вещества в почве [4].

В этой связи целью исследований являлось оценить современное состояние содержания гумуса в старопашотных почвах основных зон Омской области.

Омская область расположена на юге Западно-Сибирской низменности по среднему течению реки Иртыш, занимает площадь 141 тыс. км². Территория ее расположена в пределах двух геоботанических зон: таежной (бореальной), подразделяющейся на две подзоны — южной тайги и подтайги (подзона мелколиственных лесов) и степной, разделяющейся на лесостепную и степную подзоны.

Характерная особенность климата — резкая континентальность, недостаток осадков, сухость воздуха, холодная и продолжительная зима и жаркое, но короткое лето. Континентальность климата возрастает по мере продвижения с севера на юг.

Исследования были выполнены на опытных полигонах лаборатории агрохимии и отдела северного земледелия ФГБНУ «Омского АНЦ» в южной лесостепной и подтаежной зонах Омской области.

Подтаежная зона характеризуется умеренно теплым, увлажненным климатом. Годовое количество осадков составляет 400–500 мм, за теплый период выпадает 320–360 мм. В зоне сосредоточены большие площади болот, лесов, естественных сенокосов, пастбищ. Основными типами почв являются: дерново-подзолистые (18%), серые лесные (35%), луговые (17%), характеризующиеся низким уровнем плодородия [5; 6].

Южно-лесостепная зона имеет благоприятную теплообеспеченность и недостаточное, в большинстве лет, увлажнение. Годовое количество осадков — 330–350 мм. За теплый период (выше 5°С) количество осадков составляет 175–210 мм. Осадки весенне-летнего периода неустойчивы, часто носят ливневый характер и распределяются крайне неравномерно [5].

Почвенный покров пахотных земель южной лесостепи Омской области представлен в основном обыкновенными, выщелоченными черноземами и лугово-черноземными почвами, главным образом среднего и тяжелого гранулометрического состава [6].

Почва опытного участка в южной лесостепной зоне — лугово-черноземная среднемошная среднегумусовая тяжелосуглинистая. Обеспеченность слоя почвы 0–20 см подвижным фосфором и калием (по Чирикову) повышенная и очень высокая — 105–128 и 350–420 мг/кг, соответственно. Сумма обменных катионов — 36,9 ммоль/100 г почвы, реакция почвенного раствора близкая к нейтральной (рН 6,5–6,6).

В подтаежной зоне — серая лесная оподзоленная среднемошная суглинистая почва характеризовалась содержанием гумуса — 3,0–3,5%, Обеспеченность почвы подвижным фосфором средняя, калием низкая. Сумма обменных катионов составляет 31,3 ммоль/100 г почвы, реакция почвенного раствора слабокислая (рН 5,5–5,8).

Исследования проводились в длительных стационарных опытах. В южной лесостепи опыт заложен в 1987 году на основе пятипольного зернопарового севооборота. Чередование культур в севообороте: пар чистый — яровая пшеница — соя — яровая пшеница — ячмень. Севооборот развернут во времени и пространстве.

В схему опыта включены два фактора: Фактор А — внесение минеральных удобрений. Система удобрений представлена

в таблице 1. Фактор В — внесение соломы: 1) без соломы; 2) систематическое внесение соломы при уборке каждой культуры севооборота в количестве, соответствующем ее урожаю. Солома при уборке измельчалась и равномерно распределялась на поверхности почвы, далее заделывалась в почву. В вариантах с внесением соломы скошенная фитомасса удалялась. Урожайность соломы на опытных делянках устанавливали экспериментально на основе структурного анализа урожая культур севооборота.

Таблица 1 — Система применения минеральных удобрений в пятипольном зернопаровом севообороте

Внесено удобрений, кг д.в.						На 1 га пашни
за ротацию севооборота	пар чистый	яровая пшеница	соя	яровая пшеница	ячмень	
Без удобрений	-	-	-	-	-	-
N ₉₀ P ₂₁₀	P ₉₀	-	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	N ₁₈ P ₄₂

Повторность в опыте четырехкратная, размещение вариантов рендомизированное, площадь делянки 160 м² (8x20).

В качестве удобрения использовали N_{aa}, АФ. Удобрения вносили весной до посева локально, сеялкой на глубину 6–8 см под предпосевную культивацию. В опытах высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур селекции Омского аграрного научного центра. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания — общепринятая для зоны.

Опыт в подтаежной зоне заложен в 1998 году на основе двух четырёхпольных зернопаровых севооборотов. Схема опыта включает два фактора. Фактор А — севообороты с различным насыщением зерновыми культурами и видом пара, развернутые во времени и в пространстве. Схемы севооборотов приведены в таблице 2. Фактор В — применение минеральных удобрений, кг д.в.: 1) без удобрений; 2) N₃₀P₄₅K₄₅ на гектар севооборотной площади.

Повторность в опыте четырехкратная, размещение вариантов рендомизированное, площадь делянки 72 м² (4x18).

Таблица 2 — Система применения удобрений в севооборотах.

Фактор А		Фактор В
севооборот № 1	севооборот № 2	внесение минеральных удобрений
Чистый пар	Занятый пар	0
Озимая рожь	Яровая пшеница	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀
Яровая пшеница	Горох	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀
Овес	Ячмень	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀
Сумма за ротацию		N ₁₂₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀
Итого на гектар севооборотной площади		N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅

Примечание. Дозы минеральных удобрений в севооборотах идентичные

Минеральные удобрения (N_{aa}, АФ, K_x) вносили начиная с третьей ротации севооборотов локально сеялкой на глубину 6–8 см весной под предпосевную культивацию. В опытах высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур селекции Омского аграрного научного центра. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Химическую прополку проводили препаратами, включенными в список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ. В занятом пару выращивали горохо-овсяную смесь. Уборка зеленой массы во второй декаде июля и последующей запашкой корне-пожневных остатков. Учет урожая проводили в оптимальные сроки комбайном Sampro 130.

Отбор почвенных проб производился весной перед посевом культур севооборота из слоя 0–20 см. Общий углерод определяли по Тюрину в модификации Никитина [7]. Статистическая обработка результатов исследования выполнена методами дисперсионного и корреляционного анализов [8].

Перед закладкой стационарного опыта содержание гумуса в серой лесной почве в слое 0–20 см было на уровне 3,34% (рисунок 1).

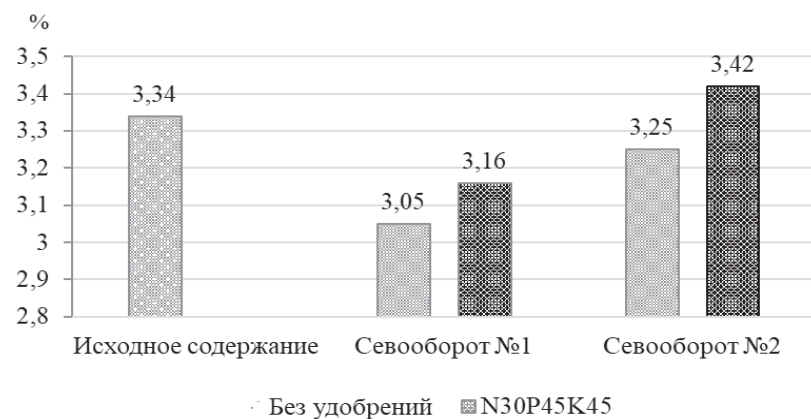


Рисунок 1 — Влияние севооборота и минеральных удобрений на содержание гумуса в серой лесной оподзоленной почве (слой 0–20 см), (2020–2022 гг.) ($HCP_{05}A=0,24$, $B=0,24$, $AB=0,34$)

Анализ содержания гумуса в почве в пятой ротации показал, что разное наполнение четырехпольных севооборотов культурами определило тренд гумусообразовательного процесса. В зернопаровом севообороте № 1 наблюдалась тенденция снижения гумуса до 3,05%, тогда как в севообороте № 2 содержание гумуса было на уровне 3,25%, где имеет место занятый пар и горох.

Применение минеральных удобрений положительно отразилось на гумусонакоплении в обоих севооборотах. В севообороте № 1 содержание гумуса в удобренных вариантах возросло на 0,11%, а в севообороте № 2 на 0,17% в сравнении с неудобренным фоном, что обусловлено увеличением биомассы культур и как следствие, поступлением большего количества растительных остатков в почву.

Анализ содержания гумуса в лугово-черноземной почве к концу шестой ротации зернопарового севооборота показал снижение на 0,12–0,59% в сравнении с исходным его количеством, с проявлением дифференциации вариантов в зависимости от систематического применения удобрений (рисунок 2).

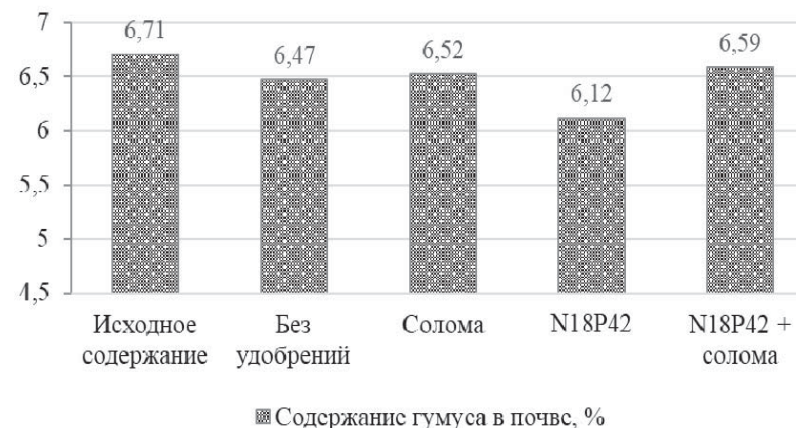


Рисунок 2 — Влияние минеральных удобрений и соломы на содержание гумуса в лугово-черноземной почве (слой 0–20 см), % ($HCP_{05}=0,23$)

Положительная направленность в стабилизации содержания гумуса наблюдалась при систематическом внесении соломы в дозе 2,8–3,6 т/га севооборотной площади. Причем, чем выше доза соломы, тем отчетливее проявлялась положительная её роль в действии на гумусный режим. При внесении соломы в дозе 2,8 т/га (вариант солома) содержание гумуса возросло на 0,05%, а при увеличении урожайности соломы на 29% (3,6 т/га) (вариант $N_{18}P_{42}+$ солома) содержание гумуса увеличилось на 0,12% в сравнении с контрольным (без удобрений) вариантом и на 0,47% в сравнении с вариантом $N_{18}P_{42}$.

При систематическом внесении минеральных удобрений ($N_{18}P_{42}$) отмечено существенное снижение содержания гумуса в почве в сравнении с вариантом без удобрений на 0,35 % и на 0,47%, соответственно, с вариантом комплексного применения $N_{18}P_{42}+$ солома. Из этого следует, что применение минеральных удобрений оптимизировало условия питания растений, обеспечивая повышение их урожайности, однако при этом, органическая масса поступающих в почву корне-поживных остатков не полностью компенсировала расход гумуса.

Таким образом, исследованиями проведенными в длительных стационарных опытах на серой лесной и лугово-черноземной почве установлено, что научно-обоснованная разработка систем севооборота с применением элементов биотехнологии (занятый пар, сидерация, внесение соломы) и минеральных удобрений позволяет создать условия для поддержания почвенного плодородия и получения стабильно высокой продуктивности агроценоза.

Список литературы

1. Лыков А. М., Еськов А. И., Новиков М. Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: РАСХН– ВНИПТИОУ, 2004. — 630 с.
2. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. — М.: ГЕОС, 2015. — 223 с.
3. Балабанова Н. Ф., Воронкова Н. А., Юшкевич Л. В. Влияние способов обработки лугово-черноземной почвы на содержание органического вещества и ее структурное состояние // *Агрохимия*. — 2023. — № 10. — С. 3–8.
4. Еськов А. И. Перспективы использования возобновляемых ресурсов в земледелии // *Всероссийское совещание «Экологические функции агрохимии в современном земледелии»*. М.: ВНИИА, 2008. — С. 69–72
5. Система адаптивного земледелия Омской области. ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. — 522 с. сибирск, 2011. С. 46–52.
6. Мищенко Л. Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование: учеб пособие — Омск: Изд-во ОмСХИ, 1991. — 164 с.
7. Никитин Б. А. Метод определения гумуса почвы // *Агрохимия*. — 1999. № 5. — С. 91–93.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. — М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

УДК 631.445.4

СЕВООБОРОТ, ПЛОДОРОДИЕ И УДОБРЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Б. П. Боинчан

*Национальный Центр Исследований и Производства Семян,
сектор Селекция, г. Бельцы, Республика Молдова
e-mail: bboincean@gmail.com
3101, г. Бельцы, Каля Ешилор, 28
НЦИПС, сектор Селекция, г. Бельцы, Республика Молдова*

Аннотация. Доминирующая индустриальная модель интенсификации земледелия не достигла устойчивого развития в экономическом, экологическом и социальном аспектах. Она не отвечает всем вызовам, с которыми сталкивается современное земледелие. Весь мир находится в поисках альтернативных систем земледелия, направленных на снижение зависимости от невозобновляемых источников энергии и их производных (минеральные удобрения, особенно азотные, топливо, пестициды и др.) с одновременным снижением отрицательного влияния на окружающую среду и на здоровье людей. Экспериментальные данные, приводимые в этой статье основаны на результатах, полученных в длительных опытах по севооборотам и бессменным посевам НИИ Полевых Культур «Селекция», г. Бельцы, Республика Молдова. Они подтверждают возможности перехода к более устойчивым системам земледелия на черноземных почвах с одновременным улучшением экологической и социальной обстановки, при соблюдении фундаментальных агрономических закономерностей.

Ключевые слова: озимая пшеница; севооборот; плодородие почвы; эффект севооборота; эффект удобрений.

CROP ROTATION, SOIL FERTILITY AND SOIL FERTILIZATION ON CHERNOZEM SOILS IN THE CONDITIONS OF GLOBAL WARMING

B.P. Boinchan

Abstract. The dominant industrial approach to agriculture intensification didn't provide a sustainable development from economic, ecologic and social points of view. This approach doesn't answer to challenges faced by modern agriculture. All over the worlds is looking for alternative farming systems oriented towards the reduction of non-renewable sources of energy and their derivatives (mineral fertilizers, especially nitrogen; pesticides; fuel etc) with simultaneous reduction of the negative influence on the environment and health of people. This article is analyzing experimental data obtained in the long-term field experiments on crop rotations and permanent cropping at Selectia Research Institute of Field Crops (Balti, Republic of Moldova). The data are proving the possibility of transition to more sustainable farming systems on Chernozem soils together with improvement of economic, ecologic and social situations, by respecting the fundamental agronomic regularities.

Key words: winter wheat; crop rotation; soil fertility; crop rotation effect; fertilization effect.

Введение

Интенсификация сельского хозяйства, начиная с 60-х годов прошлого столетия, проводится на базе концепции «зеленой революции», которая предполагает рост урожайности культур за счет роста применения невозобновляемых источников энергии (газ, нефть, уголь) и их производных, полученных на промышленных предприятиях (химические удобрения, особенно азотные; пестициды для защиты растений от «вредителей, болезней и сорняков»; дизельное топливо и др.).

Первоначальный рост урожайности культур сменился стабилизацией в середине 90-х годов прошлого столетия с последующим его снижением, несмотря на использование более урожайных сортов и гибридов полевых культур, а также усовершенство-

ванных технологий их возделывания [1,2,4]. Аналогичная тенденция отмечена в большинстве длительных опытов в разных регионах земного шара [2].

Рост цен на ограниченные невозобновляемые источники энергии и их производных, с одной стороны, и относительно низкие цены на выращиваемую сельскохозяйственную продукцию, с другой стороны, снижают конкурентоспособность фермеров. Наравне с экономическими аспектами усилились и отрицательные экологические последствия на окружающую среду, а в конечном итоге, здоровье людей.

К сожалению, экологические и социальные последствия выращивания продуктов питания экстернализируются или пренебрегаются, что не позволяет осознать в полной мере последствия доминирующего подхода к интенсификации земледелия. Ситуация усугубляется в условиях всё более частого проявления засух, как следствие глобального потепления.

В результате возникла необходимость сокращения применения промышленных инпутов, с одной стороны, и адаптации к создавшимся условиям и уменьшения их отрицательного воздействия на окружающую среду и здоровье людей, с другой стороны.

Условия и методы проведения исследований

Исследования проводились в длительных опытах по севооборотам и бессменным посевам начиная с 1962 года в НИИ Полевых Культур «Селекция», г. Бельцы, Республика Молдова.

В опыте изучаются 8 десятипольных севооборота с разным уровнем насыщенности пропашными культурами — от 40 до 70%. Площадь опытной делянки 283м². Повторность трехкратная.

В бессменных посевах изучается весь спектр возделываемых культур в Республике Молдова. Площадь опытной делянки 450м², без повторений.

Почва опытного участка — тяжелый суглинок со следующими характеристиками пахотного слоя (0–20см): содержание органического вещества почвы по И.В.Тюрину — 4,8–5,0%; рН в водной вытяжке — 7,3%; содержание общего азота, фосфора и калия — 0,21–0,25%; 0,09–0,11% и 1,22–1,28%, соответственно.

Более детально схема опыта описана в наших предыдущих публикациях [1,2].

Количество осадков за сельскохозяйственный год, за последние 30 лет, колеблется от 450 до 650мм, а средняя температура воздуха за вегетационный период кукурузы на зерно и озимой пшеницы колеблется от 16,5 до 19,5°C и 17,0°C до 20°C, соответственно.

Результаты и обсуждение

На основе полученных урожайных данных, в среднем за последние 30 лет в севообороте и в бессменных посевах, на примере озимой пшеницы мы определили эффект севооборота при размещении озимой пшеницы по ранозубируемым предшественникам (смесь вики с овсом на зеленую массу) и по позднеубируемым предшественникам (кукуруза на зерно). Эффект севооборота определяется как разница между урожайностью озимой пшеницы в севообороте и в бессменных посевах, на неудобренном и удобренном фоне (таблица 1).

Одновременно определяли эффект удобрения как разницу между удобренным вариантом и контролем (без удобрений), в севообороте и в бессменных посевах (таблица 1).

Таблица 1 — Эффект севооборота и удобрений (%) для озимой пшеницы после разных предшественников, средняя за 30 лет, НИИПК «Селекция», г. Бельцы, Республика Молдова

	Предшественник	Фон удобрённости		Прибавка в урожае от удобрений	Эффект удобрений, %
		Без удобрений	Удобрённый		
Севооборот	Вико-овсянная смесь на зел. массу	4,46	5,05	+0,59	13,2
	Кукуруза на зерно	2,56	3,60	+1,04	40,6
Бессменные посевы	Озимая пшеница	1,93	2,96	+1,03	53,4
Прибавка от севооборота (эффект севооборота)	После вико-овсянной смеси на зел. массу	+2,53/131,1%	+2,09/70,6%		
	После кукурузы на зерно	+0,63/32,6%	+0,64/21,6%		

Эффект севооборота значительно выше по ранозубируемым, чем по позднеубируемым предшественникам, как на удобренном, так и, особенно, на неудобренном фоне. Так, эффект севооборота для озимой пшеницы по ранозубируемым предшественникам составил +2,53 т/га/131,1% и +2,09 т/га/70,6% на удобренном и неудобренном фоне, соответственно. Эффект севооборота снижается при размещении озимой пшеницы по кукурузе на зерно по сравнению с ранозубируемыми предшественниками в 4,0 раза на неудобренном фоне и в 3,2 раза на удобренном фоне.

Эффект удобрения ниже в севообороте, особенно при размещении озимой пшеницы по ранозубируемым предшественникам, составив +0,59 т/га/13,2%.

Эффект удобрения растет при размещении озимой пшеницы по позднеубируемым предшественникам и, особенно, в бессменных посевах, составив +1,04 т/га / 40,6% и +1,03 т/га / 53,4%, соответственно. Тем самым, эффект севооборота при размещении озимой пшеницы по ранозубируемым предшественникам в 3,5 раза выше, чем эффект удобрения, и эффект севооборота при размещении озимой пшеницы по кукурузе на зерно, равно как и в бессменных посевах, в 2 раза выше чем эффект удобрения.

Отсюда следует, что ранозубируемые предшественники озимой пшеницы имеют огромное значение для достижения более высокой эффективности севооборота, чем при размещении озимой пшеницы по позднеубируемым предшественникам, с одновременным снижением доз применяемых минеральных удобрений. Размещение озимой пшеницы по позднеубируемым предшественникам приравнивает эффект удобрения к эффекту достигнутому в бессменных посевах. Сам факт более высокой эффективности удобрений в бессменных посевах по сравнению с севооборотом остается слабо изученным. Нам представляется, что он связан с состоянием здоровья почв.

Содержание питательных веществ, на примере нитратов, в слое 0–200 см, весной и в период после уборки озимой пшеницы и сахарной свеклы, в севообороте и в бессменных посевах, не лимитируют получение более высоких урожаев культур в бессменных посевах (таблица 2). Аналогичная ситуация выявлена по запасам продуктивной влаги в севообороте и в бессменных посевах.

Таблица 2 — Среднее содержание нитратов в почве до 2-х метров под озимой пшеницей, сахарной свеклой в севообороте и в бессменных посевах, на удобренных фонах, весной и после уборки культур, в длительных стационарных опытах НИИПК «Селекция», средняя за 2011–2018 г.г., мг/кг сухой почвы

Слой почвы, см	Озимая пшеница				Сахарная свекла			
	Севооборот		Бессменно		Севооборот		Бессменно	
	Весной	Уборка	Весной	Уборка	Весной	Уборка	Весной	Уборка
0-20	36,1	100,2	39,1	81,8	106,1	107,2	204,7	123,6
20-40	41,4	97,5	51,9	88,5	138,3	99,9	239,8	124,8
40-60	55,5	66,2	58,3	52,5	164,5	87,1	328,2	93,6
60-80	80,3	54,4	81,8	29,3	168,1	65,1	243,4	89,8
80-100	105,0	58,4	84,9	61,2	149,4	53,3	383,7	80,1
100-120	81,4	56,5	119,2	92,0	104,6	58,1	323,8	99,8
120-140	112,6	60,1	133,9	101,4	86,5	49,7	431,6	107,3
140-160	114,7	56,8	150,0	123,4	91,8	51,5	403,5	107,5
160-180	120,3	53,8	148,3	132,0	78,5	54,9	414,3	80,7
180-200	116,6	56,8	138,8	111,2	77,4	49,4	444,8	95,5
Средняя	92,4	66,0	100,6	87,3	116,5	67,6	341,8	100,2

Важным фактором в повышении конкурентоспособности фермеров, улучшения экологической обстановки через уменьшение вымывания нитратов в грунтовые воды, с одной стороны, и уменьшения выделения окислов азота в атмосферу с целью сокращения глобального потепления, с другой стороны, является эффективность использования азота из минеральных удобрений.

В таблице 3 были использованы прибавки урожая озимой пшеницы, под воздействием удобрений, при ее размещении по разным предшественникам в севообороте и в бессменных посевах.

Определены вынос азота с прибавками урожая, а также общий вынос азота с урожаем культур. С учетом внесенных доз азота с минеральными удобрениями, определяли эффективность использования азота из минеральных удобрений на изученных вариантах. Коэффициенты использования азота из минеральных удобрений при размещении озимой пшеницы в севообороте по рано- и поздно- убираемым предшественникам, а также в бессменных посевах составили: 21,7; 38,1 и 37,8%, соответственно.

Таблица 3 — Эффективность использования азота из удобрений озимой пшеницей высеваемой в севообороте после разных предшественников и в бессменных посевах, средняя за 30 лет, НИИПК «Селекция», г. Бельцы, Республика Молдова

Культуры, предшественники	Прибавки к урожаю, т/га	Вынос азота с прибавкой урожая, кг/га	Общий вынос азота с урожаем, кг/га	Азот внесенный с минеральными удобрениями, кг/га	Эффективность использования азота из минеральных удобрений, %	Доля почвенного плодородия в формировании урожайности, %
Севооборот						
Вико-овсяная смесь на з.л. массу	0,59	19,5	167,0	90	21,7	88,3
Кукуруза на зерно	1,04	34,3	118,8	90	38,1	71,3
Бессменная культура						
Озимая пшеница	1,03	34,0	97,7	90	37,8	65,2

Очевидно, крайне неэффективное использование азота из минеральных удобрений, что усугубляет экономическое положение хозяйств в условиях возросших цен на азотные минеральные удобрения. В то же время, относительно низкие коэффициенты использования азота из минеральных удобрений увеличивает риск вымывания азота в грунтовые воды в дождливые годы или в короткий рано-весенний период времени, когда происходит «соединение» влаги в почве. В засушливые годы усиливается опасность выделения азота в атмосферу в виде окислов азота, вызывающих в сотни раз большее воздействие на глобальное потепление по сравнению с углекислым газом [2,4].

Данные таблицы 3 свидетельствуют также о высокой доле почвенного плодородия в формировании урожайности озимой пшеницы, которая определяется как разница между общим выносом азота урожаем озимой пшеницы и выносом азота прибавкой урожая. Следует отметить, что чем лучше севооборот, тем выше доля почвенного плодородия в формировании урожайности и, наоборот, при размещении озимой пшеницы по поздноубираемым предшественникам или в бессменных посевах доля почвенного плодородия в формировании урожайности снижается с одновременным ростом доли минеральных удобрений в формировании урожайности.

Интегральным показателем почвенного плодородия является органическое вещество почвы, основным компонентом которой является углерод [1,7].

Экспериментальные данные, полученные в отдельном опыте по изучению разных систем удобрений в зерно-пропашном севообороте на том же Типичном черноземе Бельцкой степи, указывают на относительно более низкую долю почвенного плодородия в формировании урожайности озимой пшеницы и сахарной свеклы (68,7–73,3%) и более высокую долю почвенного плодородия в формировании урожайности для таких культур как кукуруза на зерно и подсолнечник (85,7–90,5%) [4].

Высокая доля органического вещества почвы (углерода) при ее минерализации в формировании урожайности полевых культур говорит о том, что почву как живой организм, следует в первую очередь питать углеродом, источником энергии для почвенных микроорганизмов. Чем выше функциональность почвы, тем ниже ее зависимость от промышленных инпутов в виде минеральных удобрений, химических средств защиты растений от «вредителей, болезней, сорняков» и др. Тем самым устойчивого развития сельского хозяйства можно добиться при рациональном управлении органическим веществом почвы.

Между тем, расчеты баланса органического вещества почвы (по углероду) для сложившейся структуры посевных площадей в Республике Молдова с учетом реально полученных урожаев в 2015 году, с использованием методики разработанной профессором Лыковым А.М., указывают на огромный ежегодный невосполненный дефицит углерода — 586 кг/га [2,7].

Севооборот способствует не только уменьшению зависимости от внесения минеральных удобрений, но и более эффективному использованию почвенной влаги (таблица 4). Расход почвенной влаги на формирование одной тонны зерна озимой пшеницы составил при размещении культуры по рано- и поздноубираемым предшественникам, а также в бессменных посевах: 341,4; 447,3 и 491,5 тонн, соответственно. Тем самым, правильный подбор предшественников в севообороте является мощным средством противостояния засухам, которые все чаще проявляются в условиях степи.

Таблица 4 — Эффективность использования почвенной влаги озимой пшеницей в севообороте, после различных предшественников, и в бессменных посевах, средняя за 1994–2019 г.г.

Предшественники	Запасы влаги в почве, весной, мм		Запасы влаги в почве на период уборки, мм		Расход воды за вегет. период, мм		Урожайность, т/га	Эффективность использования почвенной влаги, тонн воды на тонну зерна
	0-100 см	0-200 см	0-100 см	0-200 см	0-100 см	0-200 см		
Севооборот								
Вико-овсянная смесь на з/м	169,2	348,2	76,1	166,6	93,1	181,6	5,32	341,4
Кукуруза на зерно	165,3	339,1	73,3	158,4	92,0	180,7	4,04	447,3
Бессменные посевы								
Озимая пшеница	169,0	364,2	81,3	195,6	87,7	168,6	3,43	491,5

Данные длительных полевых опытов НИИ Полевых Культур «Селекция» убедительно подтверждают роль плодородия почвы в переходе к более устойчивой системе земледелия с меньшими производственными затратами на применение минеральных удобрений, химических средств защиты растений от «вредителей, болезней, сорняков» и др. с уменьшенным риском для окружающей среды и для здоровья людей.

Простые расчеты баланса азота в длительном опыте по севооборотам и бессменным культурам указывают на отрицательный баланс азота в разных севооборотах, в среднем за последние 30 лет, и положительный баланс азота в бессменных посевах озимой пшеницы, на удобренном фоне (таблица 5).

Самый низкий запас гумуса (по углероду) в слое 0–200см определен в черном пару (179,0 т/га) за которым следует севооборот с 70% степенью насыщенности пропашными культурами (203,2 т/га) (таблица 6).

Красильников Н.А. (1958) указывал на возможный переход растений на гетеротрофное питание в условиях засухи с усилением разложения органического вещества почвы [8].

Самый высокий запас углерода выявлен в севообороте с многолетними травами (30% люцерны) и 40% степенью насыщенно-

сти пропашными культурами — 246,2 т/га за которым следует бессменная озимая пшеница — 239,3 т/га.

Низкое содержание углерода в севооборотах и в бессменных посевах может быть обусловлено не только недостаточным поступлением растительных остатков в качестве источников углерода, но и усилением процессов разложения углерода под воздействием вносимого азота с минеральными удобрениями, ввиду нарушения соотношения между C:N [6].

Что касается накопления органического вещества почвы в бессменных посевах озимой пшеницы, то можем предположить, что за счет более высокого коэффициента использования азота из минеральных удобрений в бессменных посевах происходит более замедленное разложение органического вещества почвы. Данное предположение подтверждается также микробиологическими анализами, выполненными почвенным микробиологом Сандраком Н.А. на делянках севооборота и в бессменных посевах данного опыта. В бессменных посевах грибы преобладают над бактериями [9].

На роль многолетних трав в накоплении гумуса и биологического азота указывал Д. Н. Прянишников в своей знаменитой работе: «Азот в жизни растений и в земледелии СССР» (1945), обращая внимание на соблюдение соотношения между техническим (азот минеральных удобрений) и биологическим азотом (азот бобовых культур, навоза и др.) [10]. По его мнению соотношение между техническим и биологическим азотом в общем выносе азот растениями должно быть 1:3. Наши исследования на черноземных почвах указывают на более широкое соотношение — 1:4, а то и 1:5 [1].

Выводы Д. Н. Прянишникова особенно важны в настоящее время при усовершенствовании структуры посевных площадей с целью соблюдения севооборотов и оптимизации вносимых доз азота с минеральными удобрениями.

Нам следует стремиться к большему поступлению органических остатков в почву, в т.ч. бобовых культур, с большим содержанием азота, при выращивании основных и промежуточных культур, а также за счет лучшего круговорота изъятых питательных веществ из почвы с урожаем культур, с одной стороны, а с

другой стороны, за счет уменьшения минерализации органического вещества почвы путем сокращения или исключения механической обработки почвы. В этом плане безусловный интерес представляют альтернативные системы земледелия такие как: консервативная, регенеративная, органическая и др. [3].

Таблица 5 — Баланс азота в разных севооборотах и в бессменных посевах, на удобренном фоне, в среднем за последние 30 лет, кг/га, НИИПК «Селекция»

Сево- обороты	Вынос азота урожаем	Внесено		Баланс азота	±
		с мин. удобр.	с орг. удобр.		
№ 5	1276,5	330	350	680	-596,5
№ 4	1301,4	480	600	1080	-221,4
№ 1	1250,8	390	550	940	-310,8
Бессменная озимая пшеница	2916	1800	2100	3900	+984,0

Таблица 6 — Запасы гумуса (по углероду) на разных вариантах длительных опытов по севооборотам и в бессменных посевах озимой пшеницы, слой почвы 0–200см, т/га

Слой почвы, см	Севообороты			Бессменные посевы, черный пар, залежь, уд.		
	№ 5 (40% пропашных к-р + 30% люцерны)	№ 4 (60% пропашных к-р + 12 т/га навоза)	№ 1 (70% пропашных к-р)	озимая пшеница	черный пар	залежь
0-20	62,9	61,6	59,6	63,4	48,6	73,7
20-40	63,1	63,6	59,3	60,2	47,8	60,2
40-60	54,9	58,8	49,5	49,1	40,8	49,4
60-80	40,9	28,3	23,0	35,8	25,8	33,6
80-100	24,4	14,8	11,8	30,8	16,0	18,2
0-100	246,2	227,1	203,2	239,3	179,0	235,1

Выводы:

1. После первоначального роста урожайности озимой пшеницы в длительном опыте НИИ Полевых Культур «Селекция» (г. Бельцы, Республика Молдова) наступила его стабилизация, а за последние 20-25 лет происходит его снижение, несмотря на использование новых, более продуктивных сортов озимой пшеницы и других культур с одновременным усовершенствованием технологии их возделывания.
2. Эффект севооборота при размещении озимой пшеницы по ранобураемым предшественникам, в среднем за 30 лет, в 3,5 раза выше, чем эффект удобрений, а при размещении по позднобураемому предшественнику снижается в два раза, оставаясь на уровне с эффектом удобрений в бессменной озимой пшенице.
3. Эффективность использования азота из минеральных удобрений при размещении озимой пшеницы по вико-овсянной смеси на зеленую массу составил, в среднем за 30 лет — 21,7% и увеличилась при размещении озимой пшеницы по кукурузе на зерно и в бессменных посевах — 38,1 и 37,8%, соответственно.
4. Доля почвенного плодородия в формировании урожайности озимой пшеницы высеваемой по ранобураемым предшественникам составляет 88,3% и уменьшается до 71,3 и 65,2% при размещении по кукурузе на зерно и в бессменных посевах, соответственно.
5. Эффективность использования почвенной влаги озимой пшеницей высеваемой по вико-овсянной смеси составляет 341,4 тонн воды на одну тонну зерна и уменьшается до 447,3 и 491,5 тонн, соответственно при высевае после кукурузы на зерно и в бессменных посевах.
6. Многолетние травы (люцерна) за три года выращивания в севообороте имеет наиболее высокую способность накапливать органическое вещество по почвенному профилю до 1 метра, по сравнению с другими изученными вариантами.
7. Переход к более устойчивым системам земледелия в Республике Молдова возможен при совершенствовании структуры

посевных площадей направленной на соблюдение севооборотов и воспроизводство почвенного плодородия в условиях частого проявления засух.

Список литературы

1. Боинчан Б.П. Экологическое земледелие в Республике Молдова (севооборот и органическое вещество почвы), Кишинев, Штиинца, 1999, 269 с.
2. Борис Боинчан, Давид Дент. Земледелие на черноземах. Адаптивный менеджмент почв. Издательство Prut, Chişinău, 2020, 236 с.
3. David R. Montgomery and Anne Bikle (2016). The hidden half of Nature. The microbial roots of life and health. W.W.Norton and Company, Independent Publisher since 1923, New York, London, 309 p.
4. Дент Д., Боинчан Б. Регенеративное сельское хозяйство. Чего нам не хватает? Что нам еще нужно знать? Agriwell, 2024, 453 с.
5. Karlen D.L., Andrews S.S. and Doron I.W (2001). Soil Quality: Current concepts and applications. In: Advances in Agronomy, vol.74
6. Khan S.A., Mulvaney R.L., Ellsworth T.R. and Boast C.W. (2007). The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration, University of Illinois, Journal of Environment Quality, 36, 1821–1832
7. Лыков А.М. К методике расчетного определения гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии. Известия ТСХА, 1979, вып.6, с. 14–20
8. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения, Издательство АН СССР, Москва, 1958, 460 с.
9. Сандрак Н.А. Микрофлора почвы под бессменными посевами и в севообороте. В сб.: Вирусы и микробы в жизни растений, Кишинев, Штиинца, 1981, с. 5–26
10. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии. Избранные сочинения, т. II, Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, Москва, 1953, 519 с.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ПИТАТЕЛЬНЫЙ СТАТУС

О. В. Броварова

*Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
e-mail: olbrov@mail.ru*

Аннотация. Влияние длительного применения различных систем удобрения на физико-химические характеристики почв и их питательный статус представляет собой актуальную проблему агроэкологии. Многолетние исследования демонстрируют значительное воздействие удобрений на структуру, состав и свойства почв, что, в свою очередь, влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур и устойчивость экосистем.

В настоящем исследовании проведен анализ основных агрохимических характеристик дерново-подзолистой почвы, характерной для IV агроклиматического района Республики Коми, за временной интервал с 2008 по 2025 годы. Исследование охватывает период, включающий 6–8 ротаций сельскохозяйственного использования почвы, каждая из которых длится 6 лет.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, агрохимические показатели, минеральные удобрения

THE EFFECT OF LONG-TERM USE OF VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS ON THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS AND THEIR NUTRITIONAL STATUS

O. V. Brovarova

*Institute of Agrobiotechnologies of the Komi National Research Center
of the Ural Branch of the RAS, Syktывкар
e-mail: olbrov@mail.ru*

Annotation. The effect of prolonged use of various fertilizer systems on the physico-chemical characteristics of soils and their nutritional status is an urgent problem of agroecology. Long-term studies demonstrate the significant impact of fertilizers on the structure, composition and properties of soils, which, in turn, affects crop productivity and ecosystem stability. The present study analyzes the main agrochemical characteristics of sod-podzolic soil typical of the IV agro-climatic region of the Komi Republic over the time interval from 2008 to 2025. The study covers a period of 6-8 rotations of agricultural soil use, each lasting 6 years.

Keywords: sod-podzolic soil, agrochemical parameters, mineral fertilizers

Введение. Функционирование агроэкосистемы в оптимальном режиме требует непрерывного поступления внешней энергии. Это достигается через комплекс агротехнических мероприятий, включая мелиорацию, известкование, внесение удобрений, использование пестицидов, обработку почвы и культивирование определенных сортов растений. Усиление антропогенного воздействия на агробиоценоз снижает его способность к саморегуляции, но увеличивает продуктивность культурных растений [1, 2].

Дерново-подзолистые почвы характеризуются рядом специфических свойств, включая небольшую мощность верхнего гумусового горизонта (14–18 см), кислую реакцию среды и слабую структурность. Эти особенности негативно влияют на микробиологическую активность, воздухообмен, противоэрозионную устойчивость пахотного слоя и, как следствие, на урожайность сельскохозяйственных культур. Почвы такого типа характеризуются высокой чувствительностью к воздействию внешних факторов. В процессе окультуривания они приобретают свойства, благоприятные для возделывания сельскохозяйственных культур, однако при недостаточном энергетическом вложении быстро теряют эти качества. Для повышения плодородия дерново-подзолистых почв необходимо улучшение их качественного состояния через известкование и применение минеральных удобрений [3, 4].

Целью данного исследования является анализ динамики агрохимических параметров плодородия почв на основе данных

агрохимического обследования за период с 2008 по 2025 годы (три ротации по шесть лет) в условиях применения различных уровней агрохимических средств, а также оценить обеспеченность пахотных почв элементами питания и определить потребность в удобрениях и мелиорантах для компенсации дефицита питательных веществ в почвенном слое.

Объекты и методы. Комплексные исследования пахотных почв, включая их физико-химические характеристики, проводились на территории Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. С 1978 года на данном участке осуществляется многолетний полевой эксперимент, направленный на изучение влияния удобрений в кормовом севообороте. Почва опытного участка относится к дерново-подзолистому типу.

На момент начала эксперимента (1978 год) содержание гумуса в почве варьировалось в пределах 2,1–2,6%. Реакция почвенного раствора (pH_{KCl}) находилась в диапазоне 4,8–5,6. Сумма поглощенных оснований составляла 9,2–11,6 ммоль/100 г почвы. Содержание подвижных форм фосфора варьировалось от 180 до 246 мг/кг, а калия — от 146 до 190 мг/кг почвы.

Площадь опытных делянок 100 м² (12,5х8), повторность опыта четырехкратная, площадь участка под опытом 4800 м².

Схема опыта:

1. Контроль (без удобрений)	5. ТНК40 и/га (фон 1)	9. ТНК80 т/га (фон 2)
2. N ₁₃ P ₁₁ K ₃₉ (⅓ NPK)	6. фон 1 + ⅓ NPK	10. фон 2 + ⅓ NPK
3. N ₂₀ P ₁₆ K ₅₈ (½ NPK)	7. фон 1 + ½ NPK	11. фон 2 + ½ NPK
4. N ₄₀ P ₃₂ K ₁₁₆ (1 NPK)	8. фон 1 + 1 NPK	12. фон 2 + 1 NPK

Агрохимический анализ почвы выполняли в соответствии с ГОСТами и методами, принятыми в агрохимической службе и почвоведении.

Обсуждение результатов. В ходе исследования установлено, что солевая кислотность почвы (pH_{KCl}) варьировалась в пределах 4,7–5,8 и изменялась от слабокислой до близкой к нейтральной в течение рассматриваемого периода. В варианте без применения

удобрений кислотность сохранялась в диапазоне слабокислой среды (pH_{KCl} 4,7–5,5).

Применение минеральной системы удобрений NPK приводило к изменению средней солевой кислотности почвы в пределах среднекислой среды (pH_{KCl} 4,7–5,1) за три ротации. В случае использования органоминеральной системы удобрений с увеличением норм, особенно на фоне 2 ТНК (80 т/га), кислотность почвы снижалась до слабокислой среды (pH_{KCl} 5,3–5,8) (таблица 1).

Таблица 1 — Изменение кислотности дерново-подзолистой почвы под воздействием системы удобрения (средние показатели за 18 лет — 3 ротации)

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	pH_{KCl}				Среднее за период	Откл.
			Контроль 1978 г.	6 ротация 2008-2013 гг.	7 ротация 2014-2019 гг.	8 ротация 2020-2025 гг.		
1	Схема 1	Контроль (б/у)	5,5	4,7	5,0	4,8	4,8	-0,7
2		1/3 NPK	5,6	4,7	4,9	5,1	4,9	-0,7
3		½ NPK	5,6	4,9	5,0	5,1	5,0	-0,6
4		1 NPK	5,4	4,9	5,1	5,1	5,0	-0,4
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	5,3	5,5	5,0	5,4	5,3	0,0
6		Фон 1 + 1/3NPK	5,2	5,5	5,1	5,3	5,3	0,1
7		Фон 1 + ½ NPK	5,3	5,5	5,2	5,5	5,4	0,6
8		Фон 1 + 1 NPK	5,3	5,3	5,2	5,1	5,2	-0,1
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	5,3	5,6	5,2	5,2	5,4	0,1
10		Фон 2 + 1/3NPK	5,1	5,4	5,2	5,5	5,4	0,3
11		Фон 2 + ½ NPK	5,2	5,5	5,7	5,5	5,6	0,4
12		Фон 2 + 1 NPK	5,3	5,7	5,8	5,5	5,7	0,4

Исследование выявило, что продолжительное применение минеральных удобрений NPK приводит к снижению pH в KCl-вытяжке, что свидетельствует об увеличении кислотности почвы в шестой ротации. Это обусловлено физиологической кислотностью азотных и фосфорных компонентов удобрений.

Применение органоминеральной системы удобрений, включающей NPK и органическое удобрение торфонавозный компост (ТНК), особенно при дозе 80 т/га, замедляет окисление почвы (таблица 1).

Кроме этого, длительное возделывание почвы под разные культуры привело к повышению кислотности почвы до состояния $pH_{KCl}=4,1-4,8$, что характеризует ее как сильно и среднекислой, это и стало показанием к проведению мелиоративных мероприятий в 2018 году. В результате проведения известкования, кислотность резко возросла до состояния практически нейтральной среды $pH_{KCl}=5,3-6,8$, особенно на фоне 2 (ТНК 80 т/га).

Динамика солевой кислотности почвы определяется не столько схемами внесения удобрений, сколько продолжительностью и интенсивностью применения минеральных удобрений NPK, а также значительные колебания максимальных и минимальных значений кислотности обусловлены спецификой кислотно-щелочного баланса выращиваемых культур.

При анализе обменной кислотности подзолистых почв важно учитывать её зависимость от ионов алюминия, которые играют ключевую роль в процессах хемосорбции. Это подтверждается результатами исследования дерново-подзолистой почвы на лёгких суглинках участвующими в хемосорбции, что подтверждается полученными данными исследования для дерново-подзолистой почвы на лёгких суглинках [5]. В таблице 2 представлены результаты обменной кислотности и обменных оснований по данным 2018 года.

В таблице 2 представлены данные о почвах севооборота, где варианты с применением только минеральных удобрений (NPK) и по схеме фон 2 (ТНК 80 т/га) + 1NPK характеризуются более низкими значениями обменной кислотности по сравнению с другими схемами. В этих же вариантах отмечается низкое содержание обменного алюминия.

При использовании органоминеральной системы удобрения по схеме фон 1 (ТНК 40 т/га) + 1NPK получены максимальные значения обменной кислотности и концентрации ионов алюминия.

Чрезмерное внесение торфонавозного компоста (ТНК) в высоких дозах способствовало связыванию ионов алюминия, что привело к снижению их содержания в почве. В то же время, при низких дозах компоста уровень обменного алюминия остался на уровне контроля, а его изменения при применении NPK на фоне ТНК были незначительными.

Значимых отклонений в содержании обменных катионов по сравнению с контрольным вариантом не выявлено. Некоторое снижение концентрации обменного кальция в почве варианта ТНК 80 + 1NPK и обменного магния на фоне ТНК 80, вероятно, связано с повышенным выносом этих элементов растениями в условиях повышенной продуктивности.

Таблица 2 — Показатели обменной кислотности и обменных оснований (2018 год)

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	Обменная кислотность, ммоль/100 г почвы		Обменные основания, ммоль/100 г почвы		
			Al+H	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	Схема 1	Контроль (б/у)	0,42	0,03	0,38	7,25	2,50
2		1/3 NPK	0,12	0,02	0,10	8,31	2,72
3		½ NPK	0,12	0,03	0,08	9,43	3,00
4		1 NPK	0,15	0,03	0,12	9,27	3,16
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	0,40	0,03	0,37	9,59	3,31
6		Фон 1 + 1/3NPK	0,30	0,03	0,27	8,71	3,03
7		Фон 1 + ½ NPK	0,27	0,03	0,23	9,41	3,24
8		Фон 1 + 1 NPK	0,23	0,03	0,20	7,77	2,31
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	0,15	0,03	0,12	7,89	2,16
10		Фон 2 + 1/3NPK	0,12	0,02	0,10	8,56	2,25
11		Фон 2 + ½ NPK	0,07	0,02	0,05	7,76	2,22
12		Фон 2 + 1 NPK	0,03	0,02	0,02	6,38	1,69

Можно предположить, что в вариантах без внесения ТНК преобладают механизмы простой химической осадочной сорбции. Это приводит к накоплению минерального фосфора в виде ортофосфатов алюминия и кальция, которые являются основным источником фосфора для растений, а в варианте с применением ТНК 80 т/га и 1NPK наблюдается преимущественно комплексообразовательная сорбция. В этом процессе поливалентные ионы почвенного раствора связываются органическим веществом, адсорбированным твёрдой фазой почвы. В результате фосфор переходит в органическую форму, доступную для растений только после минерализации, осуществляемой микроорганизмами. При увеличении содержания органики и минеральных удобрений микробиологические процессы активизируются, что способствует переработке комплексных органических соединений и образованию доступных для растений форм фосфора. Оптимальная среда для усвоения растениями фосфат-ионов характеризуется слабокислой реакцией (рН 5,0–5,5), что соответствует условиям третьей схемы (таблицы 1 и 2).

Полученные данные гидролитической кислотности показал, что на момент закладки стационарного опыта (1978 г.) данный показатель колебался преимущественно в пределах слабокислой Нг = 2,8 — 4,0 мг-экв / 100 г почвы. Использование органоминеральной схемы удобрений, на фоне внесения органических удобрений позволило снизить гидролитическую кислотность почвы до Нг = 0,6 — 2,5 мг-экв / 100 г почвы, наибольшее снижение наблюдается на фоне 2 (ТНК 80 т/га) (таблица 3).

В 2018 году было проведено известкование и как результате удалось значительно снизить гидролитическую кислотность почвы до значений, близких к нейтральным. Длительное использование минеральных удобрений, содержащих только компоненты NPK (азот, фосфор, калий), приводит к увеличению кислотности почвы. Для предотвращения достижения критических значений кислотности рекомендуется применять органические удобрения, такие как ТНК (торф-навоз-компост), а также проводить известкование. Эти агротехнические меры позволяют эффективно регулировать процесс закисления почвы, обеспечивая оптимальные условия для роста растений [6].

Таблица 3 — Показатели гидролитической кислотности дерново-подзолистой почвы под действием системы удобрения (средние показатели за 3 ротации)

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	Нг, мг-экв. / 100 г почвы				Среднее за период	Откл., мг-экв. /100г
			Контроль 1978 г.	6 ротация 2008-2013 гг.	7 ротация 2014-2019 гг.	8 ротация 2020-2025 гг.		
1	Схема 1	Контроль (б/у)	3,1	4,0	3,6	2,8	3,5	0,4
2		1/3 NPK	3,7	3,7	3,1	3,2	3,3	-0,4
3		½ NPK	3,4	3,6	3,1	3,2	3,3	-0,1
4		1 NPK	3,4	3,5	1,9	2,9	2,8	-0,6
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	3,7	3,4	2,2	2,5	2,7	-1,0
6		Фон 1 + 1/3NPK	3,7	3,0	1,7	2,9	2,5	-1,2
7		Фон 1 + ½ NPK	3,4	3,1	2,1	2,5	2,6	-0,8
8		Фон 1 + 1 NPK	3,2	3,0	2,1	3,0	2,7	-0,5
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	3,8	2,3	2,0	2,9	2,4	-1,4
10		Фон 2 + 1/3NPK	3,9	1,8	1,9	2,9	2,2	-1,7
11		Фон 2 + ½ NPK	4,0	1,6	0,7	2,5	1,6	-2,5
12		Фон 2 + 1 NPK	3,6	1,5	0,6	2,5	1,5	-2,1

Результаты показывают, что известкование позволило повысить степень насыщенности почвы основаниями. В таблице 4 приведены средние значения суммы поглощённых оснований средние показатели за 18 лет — 3 ротаций, что позволяет отнести почву к средней группе по сумме поглощённых оснований $S=9,2-12,6$ мг-экв./100 г почвы, при этом наблюдается устойчивая тенденция повышения суммы поглощённых оснований при фоновом использовании органических удобрений (ТНК).

Таблица 4 — Изменение суммы поглощённых оснований S дерново-подзолистой почвы под действием системы удобрения, мг-экв. /100 г. почвы

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	S, мг-экв. /100 г почвы				Среднее за период	Откл.,
			Контроль 1978 г.	6 ротация 2008-2013 гг.	7 ротация 2014-2019 гг.	8 ротация 2020-2025 гг.		
1	Схема 1	Контроль (б/у)	9,2	10,3	10,1	11,6	10,7	1,5
2		1/3 NPK	9,8	13,2	11,1	11,3	11,9	2,1
3		½ NPK	10,2	13,1	12,0	11,4	12,2	2,0
4		1 NPK	11,1	11,5	12,5	12,2	12,1	0,9
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	11,6	12,4	12,9	12,3	12,5	0,9
6		Фон 1 + 1/3NPK	10,8	12,7	12,0	12,5	12,4	1,6
7		Фон 1 + ½ NPK	11,5	13,2	12,7	13,2	13,0	1,5
8		Фон 1 + 1 NPK	10,6	12,7	11,0	12,5	12,0	1,4
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	9,8	13,7	10,5	12,6	12,3	2,5
10		Фон 2 + 1/3NPK	10,3	11,9	11,3	13,3	12,2	1,9
11		Фон 2 + ½ NPK	11,4	13,1	11,2	13,4	12,6	1,2
12		Фон 2 + 1 NPK	10,6	12,9	10,2	13,8	12,3	1,7

Исследования показали, что оптимальной схемой внесения удобрений с точки зрения увеличения суммы поглощённых оснований является схема ТНК 40 т/га + ½ NPK. Анализ средних значений суммы поглощённых оснований в сравнении с контрольным вариантом выявил тенденцию к её увеличению при использовании всех рассматриваемых схем внесения удобрений (таблица 4).

Таким образом, установлено, что продолжительное применение органоминеральных удобрений способствует аккумуляции поглощённых оснований в почве, что приводит к повышению её качества и плодородия.

Для достижения высокой продуктивности агроэкосистем, сформированных на дерново-подзолистых почвах, необходимо обеспечить достаточный уровень подвижных фосфатов в почвенном слое. Оптимальное содержание фосфора в пахотном горизонте должно составлять не менее 101–150 мг P_2O_5 на килограмм почвы [2].

Результаты исследования показали, что применение удобрений повысило содержание подвижного фосфора в почве, выраженное в пересчёте на P_2O_5 (таблица 5). На основании этого показателя почвы севооборота можно отнести к категории с высоким (151–250 мг P_2O_5 /кг) и очень высоким (более 250 мг P_2O_5 /кг) уровнем содержания подвижного фосфора.

Систематическое внесение фосфорных удобрений способствует не только общему обогащению почв фосфатами, но и значительному увеличению содержания их легкоподвижных форм [7]. В ходе исследования во всех ротациях выявлено, что почвы, в которые были внесены минеральные удобрения в сочетании с высокой дозой компоста, демонстрируют наиболее высокий уровень содержания фосфора.

Результаты показывают, что содержание подвижного фосфора в почве демонстрирует высокие и очень высокие показатели. В контрольном варианте содержание фосфора составляет 175–245 мг/кг почвы, а в шестой ротации достигает более 250 мг/кг. Это свидетельствует о повышении содержания фосфора в результате длительного применения удобрений. Наибольшее содержание фосфора зафиксировано по схеме: фон 2 (ТНК 80 т/га) + 1 NPK, что превышает показатели контроля. Проведение известкования в 2018 году значительно снизило содержание фосфора, что

может быть связано с увеличением усвояемых растениями соединений фосфора, которые выносятся с урожаем, достигает более 250 мг/кг. Это свидетельствует о повышении содержания фосфора в результате длительного применения удобрений. Наибольшее содержание фосфора зафиксировано по схеме: фон 2 (ТНК 80 т/га) + 1 NPK, что превышает показатели контроля. Проведение известкования в 2018 году значительно снизило содержание фосфора, что может быть связано с увеличением усвояемых растениями соединений фосфора, которые выносятся с урожаем.

Таблица 5 — Показатели подвижного фосфора (P₂O₅) дерново-подзолистой почвы под действием системы удобрения (средние показатели за 3 ротаций)

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	P ₂ O ₅ , мг. /кг почвы				Среднее за период	Откл., мг/кг п
			Контроль 1978 г.	6 ротация 2008-2013 гг.	7 ротация 2014-2019 гг.	8 ротация 2020-2025 гг.		
1	Схема 1	Контроль (б/у)	223	176	175	245	199	-24
2		1/3 NPK	193	223	178	229	210	17
3		½ NPK	187	220	193	204	206	19
4		1 NPK	201	241	197	229	222	21
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	211	274	165	241	227	16
6		Фон 1 + 1/3NPK	211	311	186	269	255	44
7		Фон 1 + ½ NPK	246	337	214	277	276	30
8		Фон 1 + 1 NPK	184	333	238	252	274	90
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	201	307	227	243	259	58
10		Фон 2 + 1/3NPK	180	335	258	260	261	81
11		Фон 2 + ½ NPK	240	343	280	274	299	59
12		Фон 2 + 1 NPK	227	364	298	272	311	84

Калийное состояние почв оценивается не только на основе соотношения различных форм калия, но и с учётом его резервных запасов и калийного потенциала. Основным индикатором обеспеченности растений калием является содержание обменного калия (K₂O) в почве, как это отражено в таблице 6.

Однако для полной характеристики калийного состояния почвы необходимо учитывать степень доступности калия для растений, что соответствует калийному потенциалу почвы.

Таблица 6 — Содержания обменного калия (K₂O) дерново-подзолистой почвы под действием системы удобрения (средние показатели за 3 ротаций)

№ п/п	Схемы опытов	Варианты применения удобрений	K ₂ O обм., мг. /кг почвы				Среднее за период	Откл., мг/кг п
			Контроль 1978 г.	6 ротация 2008-2013 гг.	7 ротация 2014-2019 гг.	8 ротация 2020-2025 гг.		
1	Схема 1	Контроль (б/у)	146	79	74	115	89	-57
2		1/3 NPK	148	141	77	127	115	-33
3		½ NPK	152	146	90	108	114	-38
4		1 NPK	156	172	99	124	131	-25
5	Схема 2	Фон 1 ТНК 40 т/га	148	172	83	113	123	-25
6		Фон 1 + 1/3NPK	162	191	99	121	137	-25
7		Фон 1 + ½ NPK	178	202	92	143	146	-32
8		Фон 1 + 1 NPK	181	214	83	140	146	-35
9	Схема 3	Фон 2 ТНК 80 т/га	148	172	83	113	123	-25
10		Фон 2 + 1/3NPK	162	191	99	121	137	-25
11		Фон 2 + ½ NPK	178	202	92	143	146	-32
12		Фон 2 + 1 NPK	181	214	83	140	146	-35

Результаты исследования показали, что в контрольном варианте содержание обменного калия за годы ротаций варьировало в пределах, характерных для почв со средней обеспеченностью (74–115 мг/кг по Кирсанову). Применение минеральных (NPK) или органических удобрений (ТНК) не приводило к значительному увеличению содержания обменного калия, тогда как органо-минеральная система удобрений способствовала повышению его уровня, особенно при норме 1NPK независимо от фонового содержания ТНК. В шестой ротации обеспеченность обменным калием значительно возросла по сравнению с контролем. Максимальное содержание обменного калия наблюдалось при полной дозе 1NPK вне зависимости от фонового уровня ТНК. Проведённое известкование в седьмой ротации (2018 год) привело к резкому снижению содержания обменного калия в почве. Почва, ранее относившаяся к категории с повышенным содержанием калия, перешла в категорию со средней обеспеченностью по Кирсанову. Полученные данные согласуются с позицией Минеева В.Г. (1990), который отмечал, что при средней обеспеченности почв подвижным калием известкование не приводит к значительному улучшению калийного питания растений из-за антагонизма между ионами кальция и калия. Более того, известкование может снижать содержание калия в растениях, что особенно заметно у культур с высоким потреблением калия, таких как картофель [8].

Таким образом, наибольшие изменения были получены при комбинированном использовании органических и минеральных удобрений. Длительное применение минеральных удобрений способствовало накоплению питательных элементов в почве: подвижного фосфора — до высокого и очень высокого уровня (151–250 мг/кг), обменного калия — до среднего уровня (74–115 мг/кг), при этом степень подвижности фосфора и калия повышалась с увеличением дозы минеральных и органических удобрений. Проведенное известкование произвело нейтрализующее действие на кислотность почвы, повысило количество обменных оснований в почве, а также эффективно регулировать процесс закисления почвы, обеспечивая оптимальные условия для роста растений.

Список литературы

1. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. Земледелие (2000).pdf URL.: <https://studfile.net/preview/7900211/page:28/> (дата обращения 21.05.2025)
2. Жученко А. А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии: теория и практика. Москва: Изд-во Агрорус, 2010, Т. 1., 809 с.
3. Величко В. А. Оптимизация кислотности почв — необходимый агро-экологический прием // Агрохимический вестник. — 1998. — № 1. — С. 10–12.
4. Ермолаев, С. А. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв России // Плодородие. — 2001. — № 1. — С. 4–7.
5. Елькина Г. Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — 276 с.
6. Чеботаре, Н. Т., Броварова О. В. Эффективность минеральных удобрений и извести при возделывании многолетних трав на дерново-подзолистой почве Республики Коми // Кормопроизводство. — 2022. — № 2. — С. 29–33.
7. Державин Л. М. Роль химизации земледелия и модернизации сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. — 2011. — № 7. — С. 73–77.
8. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. — 287 с.

ЦИФРОВОЕ АГРОХИМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВ - КАК ОСНОВА НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ НОРМ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

¹Л. А. Гафурова, ¹Г. Т. Джалилова, ²М. М. Даулетмуратов

¹ *Национальный университет Узбекистана, Ташкент,
la.gafurova@nuu.uz, jalilova.gulnora.2024@gmail.com*

² *Институт сельского хозяйства и агротехнологий
Каракалпакстана, Нукус*

Аннотация. В статье рассматриваются возможности цифрового агрохимического картографирования для обоснования норм и сроков внесения удобрений в условиях орошаемого земледелия. Объектом исследования выступают лугово-аллювиальные почвы Тахтакупырского района Республики Каракалпакстан. На основе полевых и лабораторных исследований, проведённых по общепринятым методикам, выполнен вариограммный анализ агрохимических показателей (гумус, азот, фосфор, калий) с использованием модуля Geostatistical Analyst и метода Empirical Bayesian kriging в ArcGIS 10.6.1. Построены цифровые агрохимические картограммы масштаба 1:25 000, позволившие выявить значительную пространственную неоднородность почв и рассчитать научно-обоснованные дозы удобрений для хлопчатника, зерновых и овощных культур. Сравнительный анализ показал, что фактическая практика хозяйств характеризуется завышенными дозами азотных удобрений при одновременном дефиците фосфорных и калийных. Разработанная информационно-аналитическая система агрохимического исследования почв (ИАСАИ) обеспечивает интеграцию полевых, лабораторных и статистических данных, автоматический расчёт норм удобрений и агрохимический мониторинг. Внедрение цифрового картографирования и ИАСАИ позволяет повысить урожайность культур, снизить затраты на удобрения и уменьшить экологическую нагрузку, создавая основу для развития точного земледелия в условиях аридного климата.

Ключевые слова: цифровое почвенное картографирование; агрохимические исследования; лугово-аллювиальные почвы; ГИС-технологии; агрохимический мониторинг; нормы удобрений

IGITAL AGROCHEMICAL SOIL MAPPING — AS A BASIS FOR SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF FERTILIZER APPLICATION RATES

Lazizakhon Akramovna Gafurova

National University of Uzbekistan, Tashkent, la.gafurova@nuu.uz

Gulnora Tulkunovna Djalilova

*National University of Uzbekistan, Tashkent,
jalilova.gulnora.2024@gmail.com*

Mukhammedali Mirzamuratovich Dauletmuratov

Institute of Agriculture and Agrotechnologies of Karakalpakstan, Nukus

Abstract. The article examines the potential of digital agrochemical mapping for substantiating fertilizer application rates and timing under irrigated agriculture conditions. The research focuses on meadow-alluvial soils of the Takhtakupyr district in the Republic of Karakalpakstan. Based on field and laboratory studies conducted using standard methodologies, variogram analysis of agrochemical indicators (humus, nitrogen, phosphorus, potassium) was carried out with the Geostatistical Analyst module and the Empirical Bayesian kriging method in ArcGIS 10.6.1. Digital agrochemical maps at a scale of 1:25,000 were developed, which revealed significant spatial heterogeneity of soils and enabled the calculation of scientifically grounded fertilizer rates for cotton, cereals, and vegetable crops. A comparative analysis showed that actual farming practices are characterized by excessive nitrogen fertilizer application alongside a deficiency of phosphorus and potassium. The developed Information and Analytical System of Soil Agrochemical Research (IASAI) ensures the integration of field, laboratory, and statistical data, automated calculation of fertilizer norms, and agrochemical monitoring. The introduction of digital mapping and IASAI makes it possible to increase crop yields, reduce fertilizer costs, and decrease environmental impacts, thereby forming a foundation for the development of precision agriculture in arid climates.

Keywords: digital soil mapping; agrochemical research; meadow-alluvial soils; GIS technologies; agrochemical monitoring; fertilizer norms

Введение. Рациональное использование удобрений является одним из важнейших факторов устойчивого повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения почвенного плодородия. В условиях интенсификации земледелия и расширения орошаемых площадей возрастает необходимость научно-обоснованного нормирования минеральных и органических удобрений. Традиционные подходы, основанные на усреднённых данных, не всегда позволяют учесть пространственную неоднородность почвенного покрова, что ведёт либо к избыточному внесению и экологической деградации, либо к дефициту элементов питания и снижению урожайности. Современные достижения в области геоинформационных технологий, дистанционного зондирования и цифровой картографии открывают новые возможности для точного учета агрохимических свойств почв. Цифровое почвенное картографирование позволяет перейти от традиционных картограмм к динамическим пространственным моделям плодородия, что является основой точного земледелия и дифференцированного внесения удобрений.

Понятие цифрового почвенного картографирования (Digital Soil Mapping, DSM) было сформулировано McBratney и др. (2003) через факторную схему SCORPAN (soil, climate, organisms, relief, parent material, age, space), которая легла в основу современных методов пространственного моделирования свойств почв [19]. В дальнейшем DSM получило развитие в учебных и методических пособиях, где оно определяется как создание цифровых карт типов и свойств почв с использованием наблюдений и статистических моделей [5].

Особое значение цифровое картографирование почв приобрело в агрохимии, так как позволяет определять содержание органического углерода, азота, фосфора, калия, pH и мощность гумусового горизонта. Исследование Сулейманова и соавт. (2021) показало высокую точность предсказания агрохимических параметров при использовании алгоритмов машинного обучения,

например SVM (R^2 до 0,74 для общего азота) [20]. Китайские учёные активно используются данные дистанционного зондирования и методы машинного обучения для оценки кислотности, и обеспеченности почв элементами питания [18, 21]. В свою очередь, Aggouays и др. (2021) подчеркивают значение DSM для национальных и глобальных систем мониторинга [13].

Цифровые карты почв являются основой технологий точного земледелия и управления по зонам. Iticha (2019) отмечает, что использование данных DSM позволяет учитывать неоднородность полей и повышать эффективность применения удобрений [17]. Практические примеры демонстрируют, что сочетание цифрового почвенного картографирования с проксимальными сенсорами позволяет точнее определять зоны с различными уровнями плодородия и разрабатывать карты-задания для внесения удобрений [18].

Многие современные обзоры и исследования подтверждают эффективность цифрового картографирования. Савин и др. (2019) показали, что цифровые методы позволяют интегрировать данные агрохимического анализа в системы точного земледелия [8]. Ещё в 2008 году была создана единая база данных «Агрогеос» для объединения сведений Агрохимслужбы и их использования в ГИС-технологиях [10]. В дальнейшем внимание ведущих учёных-исследователей сместилось к учёту пространственной изменчивости урожайности и разработке многофакторных моделей прогнозирования [7, 11, 12].

Современные работы показывают значимость применения геоинформационных технологий для установления оптимальных норм удобрений. Исследования в Центральной Азии, в частности в Узбекистане [1,2, 3] подтверждают, что цифровое моделирование позволяет эффективно регулировать плодородие почв и повышать продуктивность культур [14,15,16].

Исходя из выше сказанного стоит отметить, что цифровое агрохимическое картографирование почв является ключевым инструментом для научно-обоснованного нормирования удобрений, поскольку позволяет учитывать пространственную неоднородность почв и повышать точность оценки их агрохимических свойств. Методологическая основа, заложенная в развитии

картографирование с использованием ГИС-технологий, дистанционного зондирования и алгоритмов машинного обучения, обеспечивает надёжное прогнозирование содержания питательных элементов. Применение цифровых картографических основ в агрохимии даёт возможность создавать карты плодородия и формировать задания для дифференцированного внесения удобрений, что способствует снижению затрат, повышению урожайности и уменьшению экологической нагрузки. Международный опыт и региональные исследования подтверждают универсальность и адаптивность подхода, что делает его фундаментом для развития точного земледелия и устойчивого агропроизводства.

Материалы и методы исследований. Целью проводимых исследований является создание цифровых агрохимических картограмм орошаемых лугово-аллювиальных почв Тахтакупырского района Республики Каракалпакстан с применением современных геоинформационных технологий. На основе полученных данных предполагается обоснование оптимальных норм и сроков внесения удобрений для сельскохозяйственных культур, а также разработка информационно-аналитической системы почвенно-агрохимических исследований. Объектом исследования выбраны орошаемые лугово-аллювиальные почвы массива «Макпалкуль» Тахтакупырского района. Эти почвы сформированы в условиях аридного климата и орошаемого земледелия, что обуславливает их специфические агрохимические и агрофизические свойства. **Климат** региона резко континентальный, характеризуется жарким и засушливым летом, холодной зимой и неравномерным распределением осадков. **Водный режим** определяется использованием оросительных вод, при этом на почвообразование значительное влияние оказывает уровень залегания грунтовых вод и процессы вторичного засоления. **Рельеф** территории преимущественно равнинный, что способствует развитию поливного земледелия, но одновременно усиливает процессы засоления и оглеения в пониженных участках. Формирование морфогенетических признаков почвенного покрова данного массива обусловлено комплексным влиянием рельефа, почвообразующих пород, растительности, климатических факторов, глубины залегания грунтовых вод и процессов засоления. По механическому составу

почвы массива преимущественно представлены тяжёлыми и среднесуглинистыми разностями, однако в почвенном профиле встречаются прослойки легкосуглинистых и супесчаных текстур. В гранулометрическом составе преобладает крупная пыль, при этом отмечается значительное содержание мелкопесчаной фракции. Агрохимические характеристики почв объекта исследования заключаются в низкой и средней обеспеченности органическим веществом. Для них характерна варьирующая степень засоления (от слабой до средней), что обуславливает необходимость строгого контроля водно-солевого баланса. Содержание основных элементов питания (азота, фосфора и калия) отличается выраженной пространственной неоднородностью, что подтверждает актуальность применения цифрового картографирования.

В ходе исследований агрохимические анализы почв проводились по общепринятым методикам, изложенным в руководстве Е.В. Аринушкиной «Руководство по химическому анализу почв». Обработка полученных данных осуществлялась методами математико-статистического анализа по руководствам Е.А. Дмитриева [4] и В.И. Савича [9], включая построение вариограмм с применением модуля Geostatistical Analyst и метода Empirical Bayesian kriging в программе ArcGIS 10.6.1. Для разработки информационно-аналитической системы почвенно-агрохимических исследований использовался язык программирования C# .NET Framework. При составлении цифровых агрохимических картограмм применялось программное обеспечение ArcGIS 10.6.1 и методические указания Госкомземгеодезкадстра и Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан. Определение норм и сроков внесения минеральных удобрений осуществлялось на основе «Рекомендаций по дифференцированному применению минеральных и органических удобрений под урожай сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Узбекистана» [6].

Для оценки точности и достоверности лабораторных анализов, смешанных образцов, был проведён математико-статистический анализ с использованием показателей: среднее арифметическое ($\bar{X}$), средняя арифметическая ошибка (m), среднее квадратичное отклонение (σ), показатель точности (R), коэффициент

вариации (V), доверительный критерий (t) и количество наблюдений (n).

На основе полученных данных с использованием ГИС-технологий были составлены цифровые агрохимические картограммы почв региона, а также определены оптимальные нормы и сроки внесения удобрений под основные сельскохозяйственные культуры. Картографические основы были построены по результатам анализа элементарных участков. Для повышения достоверности математических моделей особое значение имели точки отбора смешанных образцов почв, сформированные в пределах опорного массива. Вариограммный анализ показал различную степень пространственной корреляции агрохимических показателей: для гумуса сильная корреляция прослеживалась на расстоянии до **3200 м**, после чего эмпирические данные начали отклоняться от модели; для фосфора пространственная зависимость сохранялась до **5800 м**, после чего наблюдались незначительные колебания вокруг модели; для калия корреляция оказалась короткой — до **320 м** и в интервале **600–850 м**, тогда как в промежутке **400–600 м** и после **850 м** эмпирические данные начали существенно расходиться с моделью.

Результаты и их обсуждения. Почвы исследуемого района относятся к типу хлоридно-сульфатного и сульфатного засоления. Содержание гумуса в почвенном профиле варьирует в пределах 0,12–1,19%, общее содержание азота составляет 0,016–0,097%, валовое содержание фосфора — 0,033–0,199%, а общего калия — 0,70–2,10%. В смешанных образцах почвы, отобранных из пахотного горизонта элементарных участков, содержание гумуса находилось в пределах 0,383–1,302%, подвижного фосфора — 9,7–40,1 мг/кг, обменного калия — 87–291 мг/кг.

В ходе исследований была составлена цифровая агрохимическая картограмма масштаба 1:5000, отражающая количественное распределение гумуса и основных питательных элементов в орошаемых почвах массива «Макпалкуль», а также фермерских хозяйств «Сабир-Тахта» и «Анвар-Тахта». Учитывая значительную площадь массива, новизну проведённых исследований и сложность научной работы, для практического применения картограмма представлена в масштабе 1:25 000. По результатам

картографирования, из общей площади массива 6261,5 га: 167,0 га (2,7%) имеют очень низкую обеспеченность гумусом, 3474,1 га (59,8%) — низкую, 2121,8 га (33,8%) — среднюю, 231,6 га (3,7%) — выше средней обеспеченности.

По данным цифровых агрохимических картограмм, обеспеченность почв массива подвижным фосфором распределяется следующим образом: 3305,8 га (52,8%) от общей площади относятся к категории очень низкой обеспеченности, 2571,8 га (41,1%) — к низкой, и лишь 383,9 га (6,1%) характеризуются средней обеспеченностью. Обеспеченность почв обменным калием также варьирует: 1921,0 га (30,7%) имеют очень низкие показатели, 3423,3 га (54,7%) — низкие, а 917,2 га (14,6%) относятся к категории среднеобеспеченных.

На основе созданных цифровых агрохимических картограмм были разработаны научно-обоснованные нормы и сроки внесения удобрений для основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на массиве «Макпалкуль» и в фермерском хозяйстве «Анвар-Тахта». Для расчёта доз применялся усовершенствованный метод, предусматривающий использование поправочных коэффициентов: для подвижного фосфора ($K_f = 1,1088$), обменного калия ($K_k = 1,0383$) и азота ($K_a = 1,5817$, разработанный для почвенно-климатических условий Республики Каракалпакстан).

На основании рассчитанных коэффициентов была определена научно обоснованная потребность в минеральных удобрениях для основных сельскохозяйственных культур. В частности, для хлопчатника на площади 761 га требуется внесение 133,6 т азотных, 66,1 т фосфорных и 43,9 т калийных удобрений, а для зерновых культур на площади 1055,2 га — 148,4 т азотных, 73,0 т фосфорных и 29,2 т калийных. Аналогичные нормы были разработаны и для других культур, возделываемых в массиве.

Дополнительно нормы и сроки внесения удобрений были рассчитаны и на основе прямого использования показателей цифровых агрохимических картограмм, то есть с учётом фактического содержания питательных элементов в почвах. Для фермерского хозяйства «Анвар-Тахта» установлено, что годовая норма азотных удобрений под хлопчатник составляет 94,9 кг/га, из которых рекомендуется вносить 18,98 кг/га при посеве, 28,47 кг/га —

в первую подкормку, столько же — во вторую, и 18,98 кг/га — в третью.

Годовая доза фосфорных удобрений равна 60,03 кг/га, из которых 42,02 кг/га следует внести под осеннюю зябь, 9,0 кг/га — при посеве и ещё 9,0 кг/га — в третью подкормку. Для калийных удобрений норма составила 41,12 кг/га, при этом 20,56 кг/га рекомендуется вносить под зябь и столько же — во вторую подкормку.

Для зерновых культур годовая норма азотных удобрений составляет 52,6 кг/га, из которых 18,41 кг/га рекомендуется вносить в первую подкормку и 34,19 кг/га — во вторую. Общая норма фосфорных удобрений равна 33,3 кг/га и вносится полностью под осеннюю зябь. Калийные удобрения определены в дозе 17,5 кг/га, которая также полностью вносится под зябь.

Для овощных культур годовая норма азотных удобрений составляет 7,43 кг/га: 2,23 кг/га вносится под зябь, по 2,6 кг/га — в первую и вторую подкормку. Годовая доза фосфорных удобрений равна 4,7 кг/га, из которых 3,52 кг/га рекомендуется под зябь и 1,18 кг/га — во время посева. Калийные удобрения определены в норме 3,97 кг/га и также полностью вносятся под зябь.

Сравнительный анализ показал существенные различия между научно обоснованными дозами минеральных удобрений, рассчитанными на основе цифровых агрохимических картограмм, и фактическими нормами, применяемыми в практике на опорном массиве. Установлено, что в хозяйствах вносятся завышенные дозы азотных удобрений, что не соответствует реальной потребности почв и культур. В то же время нормы фосфорных удобрений остаются заниженными для хлопчатника, зерновых, риса и бахчевых культур. Отдельно отмечено, что потребность растений в калии удовлетворяется лишь наполовину.

Кроме того, за последние годы выявлено отсутствие применения калийных удобрений на полях под бахчевыми культурами и картофелем, а также невнесение фосфорных и калийных удобрений на многолетних насаждениях — садах и виноградниках.

Установлено, что потребность в минеральных удобрениях существенно варьирует в зависимости от культур. Так, для хлопчатника и зерновых определены повышенные дозы азотных и

фосфорных удобрений, а для овощных культур — относительно низкие нормы, вносимые послойно или под зябь. Применение данных картограмм позволило не только уточнить общую потребность в питательных веществах, но и дифференцировать их внесение по срокам и видам подкормок.

Сравнительный анализ показал, что в практике хозяйств применяются завышенные дозы азотных удобрений при одновременном недостатке фосфорных и калийных, особенно под хлопчатник, зерновые и бахчевые культуры. Кроме того, на отдельных полях (бахчевые, картофель) калийные удобрения в последние годы вовсе не применяются, а на многолетних насаждениях (сады, виноградники) отсутствует внесение фосфорно-калийных удобрений. Это свидетельствует о необходимости корректировки практики внесения удобрений в сторону научно-обоснованных норм, основанных на цифровых агрохимических картограммах.

В результате исследований было разработано программное обеспечение «Информационно-аналитическая система агрохимического исследования почв» (ИАСАИ). Данная система имеет модульную структуру и включает последовательные блоки — от подготовки и полевых исследований до агрохимического мониторинга.

В блоке полевых исследований вводятся исходные данные о территории, дате и координатах элементарных площадок. Блок лабораторных работ обеспечивает визуализацию результатов анализа смешанных почвенных образцов в градационной цветовой шкале. Блок статистического анализа выполняет математическую обработку лабораторных данных и передаёт результаты в камеральный блок с высокой точностью. В камеральных исследованиях формируются цифровые агрохимические картограммы, где площади распределяются по уровням содержания питательных элементов.

Особое значение имеет блок расчёта норм и сроков внесения удобрений, в котором для различных культур автоматически определяются потребности в минеральных удобрениях. При этом отдельные параметры (поправочные коэффициенты, планируемая урожайность, соотношение элементов питания) могут задаваться

вручную, что обеспечивает гибкость и адаптацию к конкретным условиям.

Главным отличием ИАСАИ от существующих аналогов является наличие блока агрохимического мониторинга, который обеспечивает накопление, хранение и сопоставление данных по годам. С его помощью можно отслеживать динамику агрохимических показателей, рассчитывать разницу между результатами различных периодов, выявлять направление и степень изменений, а также осуществлять прогнозирование. Это позволяет реализовать экспресс-мониторинг почвенного плодородия и формировать научно обоснованные рекомендации по оптимизации применения удобрений.

Структура информационно-аналитической системы агрохимического исследования почв (ИАСАИ) включает несколько взаимосвязанных блоков, охватывающих весь цикл работ — от полевых исследований до агрохимического мониторинга. На каждом этапе данные трансформируются и передаются в последующие модули, обеспечивая непрерывность обработки информации и получение конечных интегрированных результатов. В системе отражены логика взаимодействия блоков, последовательность передачи данных и их взаимосвязь.

Для оценки эффективности ИАСАИ была проведена сравнительная характеристика с классическими методами агрохимических исследований. Анализ показал, что разработанная система обеспечивает более высокую точность и оперативность, позволяет существенно сократить время обработки информации и значительно уменьшает объём ручного труда специалистов по сравнению с традиционными подходами.

Выводы

- Цифровое почвенное картографирование (DSM) подтвердило свою эффективность как ключевой инструмент для учета пространственной неоднородности агрохимических свойств почв и рационального нормирования удобрений.
- Агрохимические исследования лугово-аллювиальных почв объекта исследований выявили низкую и очень низкую обес-

печенность гумусом, фосфором и калием на значительных площадях, что подтверждает необходимость перехода от усреднённых норм к дифференцированным.

- Созданные цифровые агрохимические картограммы масштаба 1:25 000 обеспечили возможность точной оценки содержания гумуса, азота, фосфора и калия, что позволило рассчитать научно-обоснованные дозы и сроки внесения удобрений для хлопчатника, зерновых и овощных культур.
- Установлены существенные различия между фактической практикой внесения удобрений в хозяйствах и научно обоснованными нормами: вносятся завышенные дозы азотных удобрений при одновременном дефиците фосфорных и калийных, особенно под хлопчатник, зерновые и бахчевые культуры.
- Разработанная информационно-аналитическая система агрохимического исследования почв (ИАСАИ) показала высокую эффективность: она сокращает время обработки данных, повышает точность анализа, интегрирует лабораторные и статистические результаты и формирует дифференцированные карты-задания для внесения удобрений.
- Внедрение агрохимического мониторинга в структуре ИАСАИ обеспечивает возможность отслеживания динамики плодородия, прогнозирования изменений и формирования долгосрочных рекомендаций для устойчивого земледелия.

Проведённые исследования подтверждают, что использование цифрового почвенного картографирования в сочетании с геоинформационными технологиями и статистическим моделированием является научно обоснованным и практико-ориентированным подходом к управлению плодородием почв. На примере орошаемых лугово-аллювиальных почв Тахтакупырского района показано, что разработка цифровых агрохимических картограмм и применение ИАСАИ позволяют перейти от традиционных усреднённых норм внесения удобрений к точному, дифференцированному подходу. Это обеспечивает: повышение урожайности сельскохозяйственных культур, снижение затрат на

удобрения, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, создание основы для внедрения технологий точного земледелия в условиях аридного климата и специфики орошаемого земледелия.

Таким образом, цифровое агрохимическое картографирование следует рассматривать как универсальный и адаптивный инструмент для устойчивого развития агропроизводства, особенно в регионах с высокой пространственной неоднородностью почвенного покрова.

Список литературы

1. Бобомуродов Ш., Баходиров З. Сунъий интеллект технологияларидан фойдаланган ҳолда тупрокларни таҳлил қилиш, мониторинг қилиш ва тавсиялар бериш бўйича дастурий маҳсулот ишлаб чиқиш // Тупрокшунослик ва агрокимё. — 2023. — № 4. — С. 8–13.
2. Гафурова Л.А., Джалилова Г.Т., Рухович О.В., Шеримбетов В.Х. Иқлим ўзгаришини тупроқ ресурслари ва атроф-муҳитга кўрсатадиган таъсирни баҳолаш доирасида ГАТ, ЕМЗ ва сунъий интеллектдан фойдаланган ҳолда тупроқ деградациясини мониторинг қилиш ва моделлаштириш бўйича амалий тизимларни яратиш истикболлари // Вестник аграрной науки Узбекистана № 3 (21) 2025. — С. 175–179
3. Джалилова Г.Т., Сидиков С., Рахимов Х.Н. Дастурий таъминот имкониятларидан фойдаланилган ҳолда тупрокларнинг озуқа моддалари билан таъминланганлик даражаси бўйича электрон картограммаларни тузиш, агрокимёвий маълумотлар базасини яратиш тизими // Ўзбекистон замини: илмий-амалий ва инновацион журнал. — 2021. — № 2. — С. 38–40.
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. — М.: 1995. — 321 с.
5. Картография почв. Агрохимия и агропочвоведение: учебное пособие. — Приморская ГСХА, 2015. — 76 с.
6. Рекомендация по дифференцированному применению минеральных и органических удобрений под урожай сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Узбекистана. — Тошкент, 1987. — 40 с.

7. Рухович О.В. Оптимизация параметров прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием многофакторных моделей и ГИС-технологий: дис. ... д-ра биол. наук. — Москва: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2016. — 348 с.
8. Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю. Современные тенденции и проблемы картографии почв // Почвоведение. — 2019. — Т. 52, № 5. — С. 517–528. — DOI: 10.1134/S0032180X19050101.
9. Савич В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении. — Москва, 1972. — С. 65–68.
10. Сычёв В.Г., Рухович О.В., Романенков В.А., Беличенко М.В., Листова М.П. Опыт создания единой систематизированной базы данных полевых опытов Агрохимслужбы и Геосети «Агрогеос» // Проблемы агрохимии и экологии. — 2008. — № 3. — С. 35–38.
11. Шарый П.А., Рухович О.В., Шарая Л.С. Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта // Агрохимия. — 2011. — № 2. — С. 57–81.
12. Шарый П.А., Шарая Л.С., Рухович О.В., Гафурова Л.А., Джалилова Г.Т., Шеримбетов В.Х. Оценка климатических рисков для урожайности сельскохозяйственных культур: обзор подходов пространственно-временного моделирования // Вестник аграрной науки Узбекистана № 3 (21) 2025. — С. 186–190
13. Arrouays D., Mulder V.L., Richer-de-Forges A.C. Soil mapping, digital soil mapping and soil monitoring over large areas and the dimensions of soil security: A review // Soil Security. — 2021. — Vol. 5. — 100018. — DOI: 10.1016/j.soisec.2021.100018.
14. Bakhodirov Z., Normotov Y., Karshiboyev H., Mamatkulov A., Gulimov Q., Berdimuratov Z., Tuklibayev S. Mapping of soil properties using GIS technologies and remote sensing materials // Почвоведение и агрохимия. — 2023. — № 4. — С. 19–25.
15. Bobomurodov Sh., Baxodirov Z., Abdurakmonov N., Niyazmetov U., Normatov Y., Abdurakhmonov Z. Mapping of soil properties using geographic information systems (on the example of Tashkent region) // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 386. — 04006. — DOI: 10.1051/e3sconf/202338604006.
16. Dauletmuratov M., Gafurova L., Djalilova G., Ergasheva O., Xalmuratova B. Study on agrochemical information and analytical systems in ir-

rigated agriculture // E3S Web of Conferences. — 2024. — Vol. 563. — 03083. — DOI: 10.1051/e3sconf/202456303083.

17. Iticha B., Takele C. Digital soil mapping for site-specific management of soils // *Geoderma*. — 2019. — Vol. 351. — P. 85–91. — DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.05.026.
18. Li N., Zhao X., Wang J., Sefton M., Triantafilis J. Digital soil mapping based site-specific nutrient management in a sugarcane field in Burdekin // *Geoderma*. — 2019. — Vol. 340–341. — P. 38–48. — DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.033.
19. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // *Geoderma*. — 2003. — Vol. 117, № 1–2. — P. 3–52. — DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
20. Suleymanov A., Abakumov E., Suleymanov R., Gabbasova I., Komissarov M. The Soil Nutrient Digital Mapping for Precision Agriculture Cases in the Trans-Ural Steppe Zone of Russia Using Topographic Attributes // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. — 2021. — Vol. 10, № 4. — P. 243. — DOI: 10.3390/ijgi10040243.
21. Zhang G.-L. et al. Recent progress and future prospect of digital soil mapping: A review // *Journal of Integrative Agriculture*. — 2017. — Vol. 16, № 12. — P. 2871–2885.

УДК 631.8

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ

¹*Т.В. Гребенникова, ²М.М. Визирская*

¹*заместитель коммерческого директора АО «МХК «ЕвроХим»,*

²*начальник управления агрохимического сервиса, e-mail:*

mvizir@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются современные вызовы, стоящие перед сельским хозяйством России: деградация почвенного плодородия, учащение экстремальных погодных явлений и дисбаланс элементов питания. Представлены результаты исследований и практические решения, разработанные компанией «ЕвроХим», направленные на повышение устойчивости агросистем. Показана эффективность применения нейтрализованного фосфогипса для мелиорации засоленных и обесструктуренных почв южных регионов, а также преимущества использования жидких форм минеральных удобрений (КАС-32) и листовых подкормок в условиях абиотических стрессов. Особое внимание уделено решению проблемы обеспеченности почв подвижными формами серы и фосфора. Установлена высокая эффективность серосодержащих удобрений, в том числе инновационного продукта Cropflex 10–40 (10S), обеспечивающего прибавку урожая до и более 10%. Комплексный подход, сочетающий химическую мелиорацию, адаптацию и совершенствование технологий питания растений и использование инновационных удобрений, является ключевым условием устойчивого развития агросектора в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: плодородие, климатические стрессы, химическая мелиорация, фосфогипс, серосодержащие удобрения, жидкие удобрения, КАС-32, листовые подкормки, дефицит серы, дефицит фосфора, Cropflex 10–40, устойчивое земледелие, адаптация агротехнологий

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR MAINTAINING
SOIL FERTILITY AND ADAPTATION
TO CLIMATE STRESS

¹*T.V. Grebennikova, ¹M.M. Vizirskaya, Ph.D. (Biol.),*

¹JSC MCH «EuroChem»,
e-mail: mvizir@gmail.com

Abstract. The article deal with modern challenges facing Russian agriculture: degradation of soil fertility, increased frequency of extreme weather events, and imbalance of nutrients. The research results and practical solutions developed by EuroChem Company aimed at increasing the sustainability of agricultural systems are presented. The effectiveness of phosphogypsum application for reclamation of saline and destructured soils in southern regions is demonstrated, as well as the advantages of using liquid fertilizers (UAN-32) and foliar fertilizing under abiotic stress conditions. Special attention is paid to solving the problem of sulfur and phosphorus deficiency in soils. The high efficiency of sulfur-containing fertilizers, including the innovative product Croplex 10-40 (10S), which provides yield increases of up to 10%, is proven. An integrated approach combining reclamation, adaptation of nutrition technologies, and the use of innovative fertilizers is a key condition for the sustainable development of the agricultural sector in a changing climate.

Keywords: soil fertility, climate stress, reclamation, phosphogypsum, sulfur-containing fertilizers, liquid fertilizers, UAN-32, foliar fertilizing, sulfur deficiency, phosphorus deficiency, Croplex 10-40, sustainable agriculture, adaptation of agrotechnologies

В современных условиях сельское хозяйство РФ эффективная и активно развивающаяся отрасль экономики. В то же время её дальнейшее развитие напрямую зависит от уровня почвенного плодородия, которое в условиях интенсификации земледелия требует мер по его сохранению и воспроизводству, а дальнейшее развитие отрасли невозможно без новых решений для управления

урожаем сельскохозяйственных культур, которые бы отвечали текущим вызовам.

АО МХК ЕвроХим — одна из ведущих агрохимических компаний активно занимается разработкой и внедрением решений для восстановления и поддержания плодородия почвы и обеспечения эффективного минерального питания сельскохозяйственных культур в условиях абиотических стрессов.

Можно выделить три основных направления, которые требуют эффективных решений:

— обесструктурирование почв южных регионов в результате воздействия различных факторов,

— воздействие неблагоприятных климатических факторов (возвратные заморозки, засухи),

— дисбаланс элементов питания в почве и значительное снижение обеспеченности отдельными элементами питания (сера, фосфор)

Воздействие неблагоприятных климатических факторов.

За последние 20 лет средняя температура воздуха в России выросла на 1 градус, что в 2,5 раза больше, чем в среднем по миру. За последние 50 лет число экстремальных погодных явлений в нашей стране увеличилось в 5 раз. В частности, за последние 20 лет рост числа засух, ливней и заморозков составил 40%. Это говорит о том, что с каждым годом число экстремальных погодных явлений возрастает.

Агроклиматические стресс-факторы включают все виды засух, экстремальные температуры, переувлажнение, затопление, град, солнечные ожоги, вымерзание и заморозки. Все абиотические факторы могут приводить к остановке роста, хлорозам, способствовать развитию болезней и вредителей, сокращению периода вегетации, преждевременному созреванию, снижению содержания питательных веществ, в том числе, сахаров, частичной или полной гибели посевов и в итоге сокращению уровня урожайности.

В условиях абиотических стрессов традиционные агроприёмы работают неэффективно, в частности, снижается эффективность традиционных форм удобрений (гранулированных).

Технологии для снижения воздействия негативных факторов

Нивелировать негативное влияние помогает применение жидких форм удобрений. Например, КАС-32, позволяет эффективнее обеспечивать азотом растения, так как удобрение не требует наличия почвенной влаги для растворения и может использоваться в засушливых условиях. Технология внутрпочвенного внесения КАС-32 значительно повышает его эффективность в засушливых условиях.

Для адаптации растений всех полевых культур к стрессам необходимо обеспечить их калием, так как это основной элемент питания, помогающий растениям переживать стрессы. Калий усиливает гидратацию коллоидов цитоплазмы, повышая вододерживающую силу и засухоустойчивость растений. Калий также полезен при экстремально низких температурах, так как благодаря накоплению углеводов в клетках растений он усиливает осмотическое давление клеточного сока, тем самым повышая холодо- и морозостойкость растений.

Также в условиях агроклиматических стрессов особую актуальность приобретает использование листовых подкормок. Опыты

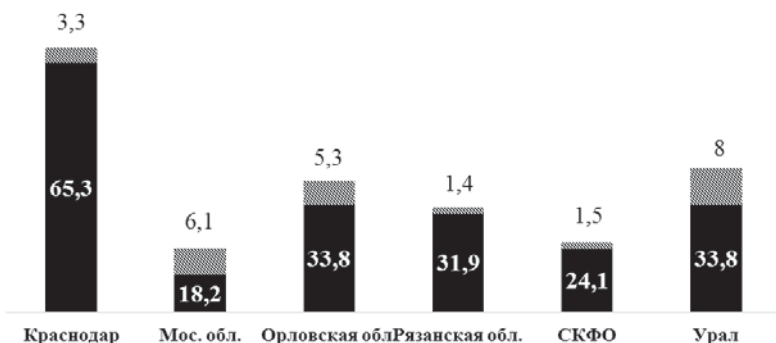


Рисунок 1 — Прибавка урожая картофеля при применении листовых подкормок

показали, что при соблюдении технологии они позволяют снизить потерю урожая и обеспечить получение прибыли. Так, например, полевые опыты, проведенные на картофеле в различных регионах в период с 2020 по 2023-й годы показали, что в различных агроклиматических условиях применение листовых подкормок позволяет получить устойчивые прибавки от 1,5 до 8 т/га (Рисунок 1).

А листовые подкормки посевов озимых зерновых обеспечивают прибавку от 2,5 до 13 ц/га в зависимости от региона (Таблица 1).

Таблица 1 — Прибавка урожайности озимых зерновых в результате применения листовых подкормок

Культура (регион, кол-во обработок)	Урожай зерна, ц/га	Урожайность с Aqualis, ц/га	Прибавка
Озимая пшеница (Белгород ¹ , 3 ²)	76,0	78,3	2,3
Озимая пшеница (Белгород, 3)	63	69	6
Яровой ячмень (Белгород, 2)	59	61	2
Яровой ячмень (Белгород, 2)	55	59	4
Озимая пшеница (Белгород, 3)	61	64	3
Озимая пшеница (Орел, 3)	81,5	85,3	3,8
Озимая пшеница (Орел, 2)	88	96,5	8,5
Озимая пшеница (Рязань, 3)	66	75	9
Яровой ячмень (Рязань, 2)	50	56	6
Озимая пшеница (Рязань, 3)	73,9	83,7	9,8
Яровая пшеница (Тула, 3)	57,7	71,3	13,6

1 — регион, 2 — количество опытов

Сохранение структуры и благоприятных агрофизических свойств почвы

Интенсивная обработка почвы тяжелой техникой, использование орошения, приводящие к обесструктуриванию, и естественная предрасположенность к засолению и осолонцеванию — распространенные проблемы почвы южных регионов России, которые решались применением мелиорантов. Однако в 90-х объемы внесения мелиорантов резко снизились.

Фосфогипс — перспективный гипсодержащий мелиорант, в составе которого до 92% гипса (37% кальция), 21% серы, 1,5–2,1% фосфора и микроэлементы. Он способствует улучшению агрофизических свойств почвы: формирует водопрочные агрегаты, улучшает водно-воздушный режим, снижает уплотнение и предотвращает запыливание.

Полевые производственные опыты, заложенные в 2022–2024 гг. в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях показали, что применение фосфогипса эффективно для решения указанных выше проблем. При нормах внесения мелиоранта от 5,5 до 8 т/га были получены следующие результаты:

Снижение pH: Произошла оптимизация кислотно-щелочного баланса почвы.



Рисунок 2 — Гипсование солонцовых почв в РФ, тыс. га

Увеличение содержания подвижной серы (S): Наблюдался значительный рост доступной для растений серы, особенно при высоких нормах внесения.

Снижение содержания обменного натрия (Na): Что особенно важно для борьбы с засолением.

Увеличение кальция (Ca): Отмечено на некоторых участках.

Рост доступного фосфора (P_2O_5): Зафиксирован на участках с его исходно низким содержанием.

Влияние на урожайность. В первый год после внесения значительной прибавки урожая клубней картофеля, зерна сои и кукурузы (более 5%) отмечено не было. Однако в Ростовской области на озимой пшенице была получена статистически значимая прибавка в 4,3 ц/га (более 10%) по сравнению с контролем.

Проведенные исследования доказали, что фосфогипс является эффективным мелиорантом, который уже в первый год после внесения достоверно улучшает ключевые почвенные характеристики: оптимизирует pH, повышает содержание доступной серы и снижает долю токсичного натрия. Для получения максимального агрономического и экономического эффекта, а также для оценки последствий продукта, рекомендуется регулярное внесение фосфогипса каждые 4–6 лет.

Активная популяризационная деятельность способствовала существенному увеличению объемов внесения мелиоранта, однако потребность во внесении все еще высокая — около 500 тыс. тонн ежегодно.

Дисбаланс и нехватка элементов питания в почве

Необходимость и важность внесения серы, как основного элемента питания и поиск подходящих серосодержащих продуктов — выраженная тенденция отечественного растениеводства в последние 10 лет. Наиболее выраженная отзывчивость на внесение серосодержащих продуктов отмечается у таких культур, как соя, рапс, зернобобовые и злаковые. Однако, согласно данным агрохимического обследования, среднее содержание доступной серы в пахотных горизонтах почв основных аграрных регионов Российской Федерации составляет 6,3 мг/кг, что соответствует

категории низкой обеспеченности. В условиях подобного дефицита внесение серосодержащих удобрений является не только целесообразным, но и необходимым агротехническим приемом для обеспечения планируемой урожайности и достижения высоких качественных показателей получаемой продукции. В связи с этим необходимость интеграции серы в стандартные схемы минерального питания сельскохозяйственных культур становится очевидной.

Однако важным моментом является необходимость выбора подходящих форм серы — доступных для растения и, в то же время, способных сохраняться в почве и обеспечивать питание в течение всего периода вегетации.

Вторая проблема — низкая обеспеченность почв подвижным фосфором и необходимость внедрения высокоэффективных и быстро усваиваемых форм фосфорных удобрений для нивелирования этого дефицита.

В рамках полевых производственных опытов компания ЕвроХим протестировала целый ряд серосодержащих продуктов: КАС с серой, где в качестве источников серы испытывались сульфат аммония, элементарная микронизированная сера и тиосульфаты, сульфоаммофос, тиосульфаты в качестве самостоятельного продукта, листовые серосодержащие подкормки. В результате длительных полевых опытов было установлено, что внесение серы в почву в дозировке 15 кг д.в./га обеспечивает прибавку урожая озимой пшеницы (до 31,5%) и улучшение качества зерна, повышает урожайность и содержание белка в сое.

Полученные данные подтверждают целесообразность использования фосфорно-серосодержащих удобрений как средства повышения эффективности минерального питания и адаптации сельскохозяйственных культур к климатическим аномалиям. И один из таких продуктов — удобрение фосфорное, обогащённое элементарной серой Cropflex 10–40 (10S) — с 2025 года активно внедряется в севообороты. Благодаря содержанию сульфатной и элементарной серы — продукт обеспечивает растения в течение всего периода вегетации, а высокое содержание водорастворимого фосфора способствует полному и своевременному обеспечению растений и этим элементом питания. Опыты показывают,

что в среднем, в сравнении с традиционным фосфорным питанием прибавка урожая достигает 4–10%.

Заключение:

Современное сельское хозяйство России сталкивается с комплексом вызовов, включая деградацию почв, учащение экстремальных погодных явлений и дисбаланс элементов питания. Результаты исследований и практический опыт демонстрируют, что дальнейшая интенсификация агропроизводства невозможна без внедрения научно обоснованных решений, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия, а также повышение устойчивости культур к абиотическим стрессам.

Ключевыми среди таких решений могут стать:

1. Применение мелиорантов, таких как фосфогипс, который доказал свою эффективность в улучшении агрофизических и агрохимических свойств почв южных регионов.
2. Использование жидких форм удобрений (КАС-32, серосодержащие продукты) и листовых подкормок, которые обеспечивают высокую усвояемость элементов питания даже в условиях засухи и других стрессовых факторов.
3. Интеграция серы и фосфора в системы питания сельскохозяйственных культур.

Комплексный подход, включающий мелиорацию почв, адаптацию технологий питания к климатическим условиям и использование инновационных удобрений, является необходимым условием для устойчивого развития агросектора.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оптимизации доз, сроков внесения и комбинировании различных форм удобрений для максимальной эффективности в условиях меняющегося климата.

Список литературы

1. Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков / В. И. Беляев, А. В. Варлагин, В. К. Дридигер [и

- др.]. — Текст: электронный // International agricultural journal: электронный научный рецензируемый СМИ. — № 1. — 2022. — URL: <https://iacj.eu/index.php/iacj/article/view/533>.
2. Росстат [Электронный ресурс]: официальный сайт. — М., 2002–2024. — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 19.04.2025).
 3. Гармаш Н. Ю., Политыко П. М., Гармаш Г. А., Новиков С. Ю., Соломатин А. В. Листовые обработки в интенсивных технологиях растениеводства // Агрохимический вестник. 2020. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/listovye-obrabotki-v-intensivnyh-tehnologiyah-rastenievodstva> (дата обращения: 01.09.2025).
 4. Тишков Н. М., Дряхлов А. А., Слюсарев В. Н. Применение серосодержащих удобрений под масличные культуры на чернозёмах выщелоченных // Масличные культуры. 2014. № 2 (159–160). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-serosoderzhaschih-udobreniy-pod-maslichnye-kultury-na-chnozyomah-vyschelochennyh> (дата обращения: 17.04.2025).
 5. Riley N.G., Zhao F.J., McGrath S.P., Leaching losses of sulphur from different forms of sulphur fertilizers: field lysimeter study // Soil Use and Management (2002) 18, 120–126, DOI: 10.1079/SUM2002115, URL: https://www.researchgate.net/publication/316187251_Leaching_losses_of_sulphur_from_different_forms_of_sulphur_fertilizers_a_field_lysimeter_study (дата обращения 19.04.2025)
 6. Ramandeep K. Sharma, Michael S. Cox, Camden Oglesby, Jagmandeep S. Dhillon, Revisiting the role of sulfur in crop production: A narrative review // Journal of Agriculture and Food Research, Volume 15, 2024, ISSN 2666-1543, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101013>, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324000504> (дата обращения 19.04.2025)
 7. Нортон Р., Миккелсен Р., Дженсен Т. Значение серы в питании растений // Питание растений. 2014. № 3. — С. 2–5.
 8. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Лопатина Н.В. Сера и урожай. Калининград: Изд-во «КГТ», 1999. 150 с.

УДК: 63:54; 631.452; 631.821.1

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ДИНАМИКУ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

А. В. Ерегин, С. В. Ерегина

*ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»,
ул. Горького, 56А, Вологда, 160014, Российская Федерация
e-mail: al.eregin2018@yandex.ru, ereginasv@mail.ru*

Аннотация. В полевом опыте с удобрениями изучили влияние последствий известкования и систем удобрения на динамику содержания и запаса минеральных форм азота в слое 0–40 см дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при выращивании овса посевного (*Avena sativa*). Последствие известкования не влияло на динамику содержания как нитратного ($N-NO_3$) так и аммонийного ($N-NH_4$) азота в почве. За период фенофаз овса всходы — полная спелость, запас минерального азота в слое 0–40 см на фоне без известкования ($pH_{kcl} = 5,1-5,2$ ед.) снизился в 2,7 раза, а на известкованном фоне в 2,4 раза. Последствие систем удобрения обеспечило урожайность овса в среднем по опыту 29,2 ц/га з.е. Наибольшую прибавку урожайности к контролю обеспечило последствие органо-минеральной системы + 24%. Расход запасов минерального азота из почвы, за период всходы — полная спелость при этом составил 37,1 кг/га, тогда как в варианте без удобрений данный показатель был на 81% выше.

Ключевые слова: известкование, системы удобрения, минеральный азот, овес посевной, дерново-подзолистая почва.

EFFECT OF LIMING AND FERTILIZER SYSTEMS ON THE DYNAMICS OF MINERAL NITROGEN IN SOD-BODDELL SOIL

A. V. Eregina, S. V. Eregina

*Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Gorky st. 56A,
Vologda, 160014, Russian Federation*

Abstract. In a field experiment with fertilizers, the effect of the after-effect of liming and fertilizer systems on the dynamics of the content and reserve of mineral forms of nitrogen in the 0–40 cm layer of sod-podzolic light loamy soil was studied when growing oats (*Avena sativa*). The after-effect of liming did not affect the dynamics of the content of both nitrate (N-NO_3) and ammonium (N-NH_4) nitrogen in the soil. During the period of oat phenophases from germination to full maturity, the reserve of mineral nitrogen in the 0–40 cm layer decreased by 2.7 times on a non-limed background ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.1\text{--}5.2$ units) and by 2.4 times on a limed background. The aftereffect of the fertilizer systems resulted in an average yield of 29.2 centners per hectare of oats. The aftereffect of the organic-mineral system resulted in the highest yield increase of 24% compared to the control. The consumption of mineral nitrogen reserves from the soil during the germination to full maturity period was 37.1 kg/ha, while this figure was 81% higher in the non-fertilized variant.

Key words: liming, fertilizer systems, mineral nitrogen, sown oats, sod-podzolic soil.

Азот — незаменимый элемент питания растений, нехватка которого ведет к замедлению роста и развития растений и, как следствие, снижению урожайности культуры. Поэтому, управление азотным питанием растений в агроценозе — одна из основных задач, решаемых в земледелии.

Данные многочисленных полевых опытов, свидетельствуют о том, что наиболее эффективным средством достижения оптимального азотного режима питания растений является применение систем удобрения (Окорков, 2020; Шайкова, 2020; Гамзиков, 2018; Серая, Богатырева, 2021).

Стоит отметить, что наиболее изученным является минеральный азот почвы (нитратный и аммонийный), поскольку именно их содержание в большей степени зависит от биохимических реакций, протекающих в почве. И именно минеральный азот наиболее чувствителен к смене агротехники и землепользования. Например, в опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в природно-климатических условиях Пермского края, содержание минерального азота в слое 0–20 см залежи составляло

5,2 мг/кг, а в севообороте, с 29% бобовых — 8,9 мг/кг. Внесение минеральных удобрений увеличило последний показатель на 21% (Завьялова, 2019).

В большинстве работ, посвященным азотному питанию растений, как правило, приводится изменение запасов азота (или содержания) в начале и в конце вегетации культуры, либо по ротациям севооборота. Тем не менее, имеется ряд работ, где прослежена именно сезонная динамика минерального азота в почве, в зависимости от культуры или системы удобрения, например (Назарова, 2023; Пасынкова, 2019; Жандарова, 2019; Азаров и др. 2022).

Вместе с тем, понимание закономерностей изменения содержания минерального азота в период вегетации растений способствует более широкому представлению о скорости иммобилизации азота и, в конечном итоге, позволяет более рационально подходить к внесению азотных минеральных удобрений и гуматов, либо биопрепаратов, стимулирующих потребление азота растениями.

Таким образом, **цель исследования:** изучение динамики содержания минерального азота в дерново-подзолистой почве при выращивании овса посевного в период последействия систем удобрения и известкования.

Методика исследования. Исследование проводили в 2024 году, объект исследования — овес посевной (*Avena sativa*), сорт Лев. Культура была завершающей в севообороте: вико-овсяная смесь — озимая пшеница — ячмень с подсевом клевера — клевер луговой — овес. Исходя из севооборота — предшественником овса был клевер луговой (сорт Дымковский), культура, которая накапливает азот в почве.

В опыте проводилась оценка влияния систем удобрения на уровень накопления биологического азота клевером. По данным Налиухина А. Н. и Рыжаковой А. А., количество симбиотически связанного азота варьировало от 61,6 до 144 кг/га, в зависимости от фона кислотности почвы и системы удобрения (Налиухин, Рыжакова, 2021).

Почва участка опыта — дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках, уровень окультуренности — средний. Более подробно методика закладки и проведения опыта описана в работе (Налиухин, Ерегин, 2025). Отбор образцов почвы

производили с глубин 0–20 и 20–40 см. Плотность слоев почвы, для расчета запасов минерального азота определяли методом режущих колец.

Содержание нитратного (N-NO_3) и аммонийного (N-NH_4) азота определяли по ГОСТ Р 53219–2008, в аккредитованной лаборатории Вологодского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужбы».

Всего в опыте исследовали последствие 4 вариантов систем удобрения: 1. Органическая (навоз, 50 т/га) 2. Минеральная ($\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$, эквивалентная по д.в. 50 т/га навоза КРС) 3. 1 Органо-минеральная (навоз, 25 т/га + $\text{N}_{75}\text{P}_{60}\text{K}_{113}$, эквивалентная по д.в. 50 т/га навоза КРС) 4. 2 Органо-минеральная (навоз, 50 т/га + $\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$, эквивалентная по д.в. 100 т/га навоза КРС). Системы удобрения сравнивали с контрольным вариантом (без удобрения).

Все системы удобрения изучали на 2-х фонах кислотности: с известкованием и без известкования. Известь вносили перед началом закладки опыта (в 2015 году), к 2024 году уровень pH_{kcl} колебался по вариантам опыта от 5,5 до 5,6 ед.

Статистическую обработку данных проводили методом описательной статистики (таблица 1 и 2, $n=20$), и двухфакторного дисперсионного анализа (таблица 3), при помощи пакета статистических программ Excel 2010.

Результаты исследования. Для понимания изменения динамики содержания минерального азота в почве, отбор образцов производили по фазам развития растений и за 4 дня до посева.

Поскольку нитратный азот один из самых подвижных элементов в почве, на его миграцию влияет внутрипочвенный сток влаги. В таблице 1 приведено значение суммы осадков за период между отборами.

Для более объективного понимания закономерностей изменения содержания нитратного и аммонийного азота в почве, в таблицах 1 и 2 приведены крайние значения ($X_{\text{min.}}$, $X_{\text{max.}}$), среднее значение ($X_{\text{cp.}}$) и коэффициент вариации ($K_v\%$).

Наибольшее содержание нитратного азота в обоих слоях почвы было до посева. Что объясняется как действием предшественника (клевер луговой — азотфиксирующая культура), так и замедленными биохимическими процессами в почве (активностью микроорганизмов, для которых оптимальная t почвы 15–20 °C).

В целом по опыту прослеживали тенденцию снижения уровня содержания нитратного азота по мере роста и развития растений. Причем, вне зависимости от фона кислотности почвы и глубины отбора. Наибольшее падение содержания нитратного азота произошло в период между фазой всходов — начало кущения и перед посевом. На известкованном фоне падение содержание в слое 0–20 см снизилось в 8,6 раз, в слое 20–40 см в 5,0 раз. На неизвесткованном фоне снижение в слое 0–20 см было в 9,1 раза, и в слое 20–40 см в 5,3 раза.

Таблица 1 — Изменение содержания N-NO_3 по фазам развития овса

Фаза развития культуры	Глубина отбора, см	Без известкования ($\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,1\text{--}5,2$ ед.)				С известкованием** ($\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,5\text{--}5,6$ ед.)			
		X_{min}	$X_{\text{max.}}$	$X_{\text{cp.}}$	$K_v\%$	$X_{\text{min.}}$	$X_{\text{max.}}$	$X_{\text{cp.}}$	$K_v\%$
До посева	0–20	57,6	123,1	78,5	34	57,6	104,8	78,9	23
	20–40	21,0	64,1	41,7	40	41,6	52,5	47,0	8
Всходы — кущение ($W^*=128$ мм)	0–20	7,4	11,8	9,1	20	7,1	11,8	8,7	22
	20–40	4,9	12,0	8,3	30	6,0	10,2	8,9	19
Кущение — выход в трубку ($W=28$ мм)	0–20	3,0	3,9	3,4	11	3,2	3,7	3,5	7
	20–40	3,1	4,9	3,8	19	2,9	4,8	3,9	23
Трубкавание — выметывание ($W=22$ мм)	0–20	3,5	4,3	3,9	9	3,7	4,4	3,8	8
	20–40	3,5	4,7	4,2	10	3,5	4,4	4,0	10
Выметывание — молочная спелость ($W=5$ мм)	0–20	3,2	4,3	3,6	11	4,3	6,8	5,4	20
	20–40	3,3	6,6	4,7	36	6,2	10,5	7,4	24
Молочная спелость — полная спелость ($W=30$ мм)	0–20	0,4	0,6	0,5	17	0,5	0,6	0,5	8
	20–40	0,3	0,4	0,4	8	0,4	0,6	0,5	19

* W — сумма осадков, мм, **-последствие извести (здесь и в таблице 2)

Собственно, различия в содержании и динамике N–NO₃ в обоих слоях почвы практически не зависели от уровня кислотности, имея вполне сопоставимые значения.

Также стоит отметить, что наименьший коэффициент варибельности (K_v%) значений отмечали в период отбора трубкавание — выметывание, причем на обоих фонах кислотности почвы.

В среднем по вегетации, коэффициент вариации по содержанию нитратного азота в слое 0–20 см незначительно различался между фонами кислотности почвы (17 %), а вот в слое почвы 20–40 см, на фоне без известкования составил 24%, а на известкованном всего 12%.

Изменение содержания аммонийного азота в почве (таблица 2) имело такую же тенденцию, как и нитратного, однако, более четко выделялись пиковые значения: до посева и в фазах трубкавание — выметывание. Причем, на обоих фонах кислотности почвы.

Таблица 2 — Изменение содержания N–NH₄ по фазам развития овса

Фаза развития культуры	Глубина отбора, см	Без известкования (pH _{kcl} = 5,1–5,2 ед.)				С известкованием (pH _{kcl} = 5,5–5,6 ед.)			
		X _{min}	X _{max}	X _{ср.}	K _v %	X _{min}	X _{max}	X _{ср.}	K _v %
До посева	0–20	10,9	28,9	18,1	41	11,8	23,4	16,6	29
	20–40	2,7	8,0	4,9	42	2,7	11,7	7,2	47
Всходы — кущение	0–20	5,4	8,8	7,2	18	5,2	8,8	7,4	18
	20–40	6,8	9,2	7,7	14	4,2	8,4	7,0	24
Кущение — выход в трубку	0–20	8,2	13,0	10,3	17	8,8	11,6	10,2	11
	20–40	6,4	10,6	9,0	18	7,2	8,0	7,6	4
Трубкавание — выметывание	0–20	10,4	16,4	12,2	20	10,2	12,6	11,3	9
	20–40	6,6	10,6	9,4	18	9,6	16,4	12,0	22
Выметывание — молочная спелость	0–20	4,0	7,0	4,9	26	4,0	5,0	4,4	10
	20–40	4,0	5,6	4,9	12	2,8	6,8	4,7	34
Молочная спелость — полная спелость	0–20	3,4	7,4	6,0	26	5,2	8,8	6,7	20
	20–40	1,6	9,6	5,0	66	1,6	11,6	5,6	67

Стоит отметить, что в отличие от нитратного азота, содержание N–NH₄ до фенофаз трубкавание — выметывание имело тенденцию к увеличению в слое 20–40 см, а после, начало резко снижаться, причем независимо от фона кислотности почвы.

В целом стоит отметить, что варьирование содержания аммонийного азота в почве было более значимым, чем нитратного. Однако, фон известкования в значительной мере способствовал снижению K_v% в слое 0–20 (в среднем за период вегетации 16%). Тогда как в нижележащем слое (20–40 см) показатель вариации для фона без известкования составил — 28%, а на известкованном — 33%. (в обоих случаях высокая степень варибельности).

Таким образом, изменение содержания как нитратного, так и аммонийного азота в слое почвы 0–40 см, в период вегетации овса незначительно изменялось под влиянием реакции почвенной среды (последствия известкования).

Запасы минерального азота в почве, были наибольшими в период до посева культуры (рисунок 1).

Стоит отметить, что перед посевом запасы нитратного азота в слое почвы 0–40 см были выше в 1,8 раза чем аммонийного. К периоду всходов — кущения уровень запасов уже не отличался, и данная тенденция прослеживается весь период роста растений.

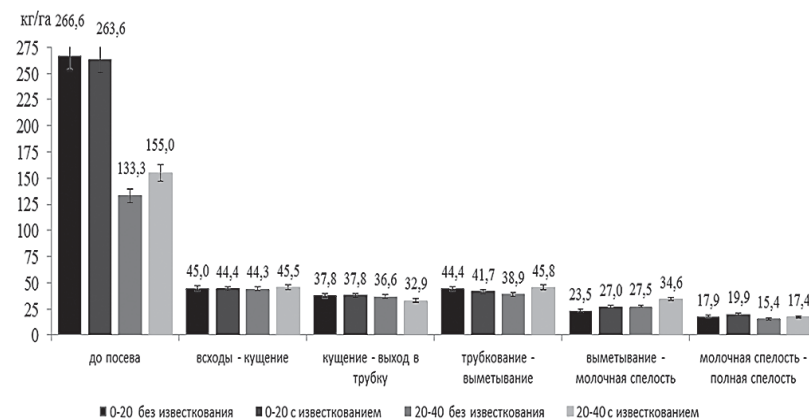


Рисунок 1 — Изменение запасов минерального азота, кг/га

Собственно, резкое снижение уровня запасов минерального азота в начале вегетации растений отчасти связано с атмосферными осадками (см. таблица 1), а отчасти — с активной микробиологической деятельностью.

Стоит также сказать, что на уровень запаса минерального азота в почве и на динамику его изменения последствие извести не оказывало практически никакого влияния.

Таблица 3 — Влияние последствия систем удобрения на урожайность зерна овса и расход минерального азота за вегетацию

Системы удобрения	Без известкования			С известкованием		
	Урожайность, ц/га з.е.	Прибавка к контролю, %	Расход минерального азота за вегетацию**, кг/га	Урожайность, ц/га з.е.	Прибавка к контролю, %	Расход минерального азота за вегетацию, кг/га
1. Без удобрения (контроль)	25,9	–	69,5	26,4	–	64,6
2. Органическая система	27,3	5	52,5	27,1	3	50,4
3. Минеральная система	29,9	15	58,9	29,6	12	58,8
4.1. Органо- минеральная система	30,3	17	66,1	31,1	18	55,8
5.2. Органо-минеральная система	31,3	21	39,5	33,5	27	34,6
В среднем по опыту	28,9	–	57,3	29,5	–	52,8
НСР* ₀₅ фактора известкования	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$					
НСР ₀₅ фактора систем удобрения	2,7					
НСР ₀₅ частных различий	3,8					

*–НСР₀₅ для значений урожайности; ** изменение содержания между всходы — полная спелость

Тогда как расход запасов минерального азота за период вегетации в зависимости от систем удобрения имел определенную тенденцию к изменению в зависимости от системы удобрения (таблица 3).

Как на фоне без известкования, так и на известкованном фоне, наибольший расход запасов минерального азота наблюдали в варианте без удобрения (контрольный), а наименьший — в варианте с последствием 2 органо-минеральной системы удобрения (где была наибольшая доза минеральных и органических удобрений).

Урожайность зерна в данном случае имела обратную тенденцию: наибольшая в 5 варианте, а наименьшая — в контрольном. Различие в урожайности зерна между данными вариантами опыта на неизвесткованном фоне составило 21%, а на фоне последствия извести — 27%.

Стоит отметить, что в среднем по вариантам опыта на фоне без известкования расход минерального азота в слое 0–40 см составил 57,3 кг/га, а на известкованном фоне (последствие) — 52,8 кг/га. При этом статистически значимого различия в уровне урожайности зерна между фонами не фиксировали.

Вывод. Последствие извести не оказывало существенного влияния на изменение, как содержания минеральных форм азота, так и на их запас в слое 0–40 см (корнеобитаемом). Содержание как нитратного, так и аммонийного азота в почве изменялось больше под действием развития растений и потребления в тот или иной период вегетации.

Системы удобрения оказали статистически значимое влияние на урожайность зерна овса посевного, в отличие от фона кислотности почвы (последствие известкования).

Вместе с тем, в 2024 году была выявлена тенденция увеличения урожайности зерна от последствия систем удобрения, при уменьшении расхода минерального азота в почве за период вегетации. Таким образом, можно предположить, что в период последствия систем удобрения, ранее созданный уровень плодородия определяет изменение запасов минерального азота в дерново — подзолистой легкосуглинистой почве. И при достаточно

высоком внесении питательных элементов с удобрениями, в период последействия растению потребуется меньше азота почвы для формирования более высокого урожая, чем на неудобренной почве.

Список литературы

1. Окорков, В. В. Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота и урожайность овса на серых лесных почвах Верхневолжья / В. В. Окорков, О. А. Фенова, Л. А. Окоркова // *Агрохимия*. — 2020. — № 2. — С. 3–13. — DOI 10.31857/S0002188120020118.
2. Шайкова, Т. В. Применение новых комплексных удобрений и биологических препаратов на посевах кормовой озимой ржи в условиях Псковской области / Т. В. Шайкова, Е. С. Волкова, М. В. Дятлова // *Аграрный вестник Урала*. — 2020. — № 11(202). — С. 45–52. — DOI 10.32417/1997-4868-2020-202-11-45-52.
3. Гамзиков, Г. П. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (к 70-летию Нарымского стационара) / Г. П. Гамзиков, Ю. Н. Анкудович // *Агрохимия*. — 2018. — № 1. — С. 17–29. — DOI 10.7868/S0002188118010027.
4. Эффективность систем удобрения озимой пшеницы на среднеоккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. — 2021. — № 2(67). — С. 78–88.
5. Завьялова, Н. Е. Влияние севооборотов и бессменных посевов на агрохимические свойства и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья / Н. Е. Завьялова, Д. С. Фомин, И. С. Тетерлев // *Агрохимия*. — 2019. — № 1. — С. 5–10. — DOI 10.1134/S0002188119010162.
6. Дзюин, А. Г. Изменения запасов минерального азота в дерново-подзолистой суглинистой почве / А. Г. Дзюин // *Агрохимический вестник*. — 2019. — № 6. — С. 30–33. — DOI 10.24411/0235-2516-2019-10086.
7. Назарова, О. В. Динамика минеральных соединений азота на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве в звене полевого севооборота / О. В. Назарова // *Сельскохозяйственные науки: вопросы и тенденции развития: материалы международной научно-*

практической конференции, Великие Луки, 20 декабря 2023 года. — Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. — С. 221–223.

8. Пасынкова, Е. Н. Динамика минерального азота в почве при возделывании яровой пшеницы по пласту клевера / Е. Н. Пасынкова, А. А. Завалин, А. В. Пасынков // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. — 2019. — № 2(72). — С. 9–15.
9. Жандарова, С. В. Динамика запасов минеральных форм азота в почве и урожайность зерна яровой пшеницы на черноземах выщелоченных при внесении минеральных удобрений / С. В. Жандарова, Т. А. Кобылина // *Аграрная наука — сельскому хозяйству : Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 12–13 марта 2020 года. Том Книга 1*. — Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2020. — С. 202–204.
10. Динамика запасов минерального азота в чернозёме при различных технологиях возделывания зерновых культур / В. Б. Азаров, В. В. Лоткова, Г. О. Борисенко [и др.] // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. — 2022. — № 3(35). — С. 117–124.
11. Налиухин, А. Н. Азотфиксация клевера лугового при применении удобрений и известковании / А. Н. Налиухин, А. А. Рыжакова // *Агрохимия*. — 2021. — № 11. — С. 65–71. — DOI 10.31857/S0002188121110090.
12. Налиухин, А. Н. Влияние систем удобрения на содержание подвижного и легкоподвижного фосфора и калия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / А. Н. Налиухин, А. В. Ерегин // *Агрохимия*. — 2025. — № 4. — С. 3–12. — DOI 10.31857/S0002188125040019.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ

¹А. А. Завалин, ¹Н. Я. Шмырева, ²А. С. Авилов

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д. Н. Прянишникова»

127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а.

E-mail: info@vniia-pr.ru

²Государственный центр агрохимической службы «Белгородский»
308027, Россия, г. Белгород
E-mail: agrohim_31@mail.ru

Аннотация. Установлено, что в микрополеводном опыте на черноземе типичном при выращивании озимой пшеницы Губернатор Дона формировалась урожайность зерна в варианте без внесения удобрений 240 г/м², а при внесении Р₆К₆ (фон) до — 300 г/м². При использовании аммиачной селитры весной на фоне РК урожайность зерна возрастала — до 400 г/м², при внесении жидкого свиного навоза (эквивалентно по азоту с аммиачной селитрой в дозе 9 г/м² на фоне РК — 422 г/м². При внесении горчицы белой (эквивалентно по азоту) с аммиачной селитрой на фоне РК урожайность снижается до 380 г/м². При совместном внесении жидкого свиного навоза, горчицы белой и аммиачной селитры получен максимальный урожай зерна 440 г/м² и соломы 594 г/м², вынос азота составлял 13,45 г/м², содержание белка 12,4%.

Наибольший коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) рассчитанный разностным методом достигал — 60,0 % в варианте с внесением жидкого свиного навоза и аммиачной селитры.

Ключевые слова: озимая пшеница; потребление и использование азота; урожайность; белок; чернозем типичный

USE OF NITROGEN FERTILIZERS BY WINTER WHEAT

¹A.A. Zavalin, ¹N.Ya. Shmyreva, ²A.S. Avilov

¹Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov" 127434, Russia, Moscow, Pryanishnikova str., 31a. E-mail: info@vniia-pr.ru

²State Center of Agrochemical Service "Belgorodsky" 308027, Russia, Belgorod. E-mail: agrohim_31@mail.ru

Abstract. It was established that in a microfield experiment on typical chernozem when growing winter wheat Gubernator Dona, the grain yield was 240 g/m² in the variant without fertilizer application, and up to 300 g/m² when Р₆К₆ was applied (background). When using ammonium nitrate in the spring against the background of RK, the grain yield increased — up to 400 g/m², with the introduction of liquid pig manure (equivalent in nitrogen with ammonium nitrate at a dose of 9 g/m² against the background of RK — 422 g/m². When introducing white mustard (equivalent in nitrogen) with ammonium nitrate against the background of RK, the yield decreases to 380 g/m². With the joint introduction of liquid pig manure, white mustard and ammonium nitrate, the maximum grain yield of 440 g/m² and straw 594 g/m² was obtained, the nitrogen removal was 13.45 g/m², the protein content was 12.4%. The highest coefficient of nitrogen use of fertilizers (CIAU) calculated by the difference method reached — 60.0% in the variant with the introduction of liquid pig manure and ammonium nitrate.

Keywords: winter wheat; nitrogen consumption and use; yield; protein. typical chernozem

Ведущей продовольственной культурой в России является озимая пшеница. На серой лесной почве при внесении 150 кг/га свиного навоза получена урожайность озимой пшеницы 5,0 т/га [9]. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56 проведено сравнительное изучение влияния способов внесения бесподстилочного жидкого свиного навоза: внутрпочвенного и поверхностного —

на динамику содержания минерального азота в почве, урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Установлен высокий эффект внутрипочвенного способа, обеспечивающего при внесении жидкого удобрения в дозе 90 т/га (N_{180}) и весенней подкормки 20 т/га (N_{40}) в среднем за годы исследований наибольшую урожайность зерна 4,54 т/га, что на 77,3% выше контроля, при окупаемости 1 т удобрения 16 кг зерна. Зерно при этом содержало 13,7% белка и имело массу 1000 семян 46,9 г. Рост дозы жидкого органического удобрения с 180 до 240 кг/га азота при внутрипочвенном внесении и весенней подкормке повышал содержание минерального азота в почве [8].

Наряду с навозом и компостами в качестве органических удобрений применяют побочную продукцию сельскохозяйственных культур, прежде всего солому зерновых культур. При среднегодовом выходе соломы около 100 млн т более 50–60% ее массы может быть использовано как органическое удобрение. В одной тонне соломы различных культур содержится от 17 до 32 кг основных элементов питания. По усредненным данным, солома содержит 80% и более органического вещества. В расчете на сухую массу содержание общего азота в соломе колеблется от 0,5 до 1,45%, фосфора — от 0,2 до 0,6%, калия — от 0,5 до 2,4%. Солома содержит также кальций, магний, серу и другие важные элементы. По содержанию органического вещества 1 т соломы эквивалентна 3,5–4 т подстилочного навоза. Целесообразно применять солому в комплексе с навозом и другими видами органических удобрений. На темно-серой тяжелосуглинистой почве продуктивность зернопропашного севооборота: кукуруза — ячмень — овес — озимая пшеница в варианте (без внесения удобрений) составляла 3,7 т з.е/га; а при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ (фон) составляла 4,5 т з.е/га, при внесении соломы 3 т/га — 4,4; сидерата 5 т/га (белая горчица) — 4,5; навоза 30 т/га — 4,7; навоза 30 т/га + 3 т/га соломы — 4,9; навоза 30 т/га + солома 3 т/га + сидерат 5 т/га — 4,9 т з.е/га [3].

В Центрально-Черноземном районе на черноземе типичном тяжелосуглинистом (Курская область) при внесении азотных удобрений в дозе $N_{60-120}P_{60}K_{60}$ под озимую пшеницу сорт Льговская 4 имел преимущество по урожайности зерна на всех вариантах опыта по сравнению с сортами Мироновская 808. На кон-

трольном варианте сбор урожая составил 3,7 т/га у сорта Льговская, а у сорта Мироновская 808 в 1,6 раза меньше. При внесении азотных удобрений прибавка урожая сорта Льговская 4 превышала прирост урожая в 3,5–3,9 раза по сравнению с сортом Мироновская 808. Наибольший урожай зерна 5,0 т/га получен по сорту Льговская при внесении минеральных удобрений $N_{120}P_{60}K_{60}$. Сорт Мироновская 808 накапливал содержание белка в зерне 12,0–13,0% по сравнению с сортом Льговская 8,4–8,8% соответственно [4].

В Тульской области на черноземе выщелоченном среднесуглинистым при систематическом внесении минеральных удобрений в интенсивном зерновом севообороте в четвертой ротации урожай зерна озимой пшеницы сорта Инны при внесении оптимальных доз удобрений $N_{90}P_{60}K_{60}$ достигал — 4,89 т/га, содержание белка 10,6%, а на контроле 2,80 т/га и 10,4% белка [1].

На черноземе типичном малогумусном тяжелосуглинистым с 1987 года в стационарном полевом опыте ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» в зернопропашном севообороте на варианте при систематическом совместном внесении органических удобрений 40 т/га и минеральных $N_{60}P_{60}K_{60}$ удобрений под озимую пшеницу за шесть ротаций севооборота (30 лет) урожайность зерна составила 5,4 т/га, при этом в почве накапливалось до 153 мг/кг подвижного фосфора и 160,0 мг/кг подвижного калия при оптимальном содержании гумуса 5,1 и pH_{kcl} почвенного раствора 5,4 ед. [6].

Обобщены результаты одиннадцати циклов обследования пахотных почв, проводимых с 1964–2022 гг. в юго-западной части Центрально-Черноземного района на территории Белгородской области. В течении одиннадцатого цикла обследования (2019–2022 гг.) средний уровень внесения минеральных удобрений составлял 114,4 кг д.в./га, органических — 9,6 т/га, известкованных кислых почв — 43,8 тыс. га в год. При внесении органических удобрений 6,1 т/га и минеральных удобрений 133 кг/га средняя урожайность озимой пшеницы увеличилось до 5,09 т/га [2].

Урожайность озимой пшеницы в различных регионах страны составляла 9,5–86,4 ц/га, а содержание белка 9,6–15,9 % [1].

Применение внутрипочвенного внесения жидкого органического удобрения свиного навоза улучшает питание растений,

повышает по сравнению с поверхностным внесением урожайность сельскохозяйственных культур на 10–28%, а по отношению к контролю на 30–78%, улучшает качество растениеводческой продукции, способствует эффективной охране природной среды, снижает потери питательных веществ, исключает загрязнение пахотного слоя почвы и грунтовых вод [5].

В длительных полевых опытах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах при изучении различных систем удобрения показано преимущество биологизированной органоминеральной системы в дозах $N_{60-90} P_{60-90} K_{60-90}$ на фоне 6–9 т/га подстилочного навоза. Ее применение обеспечивает устойчивую продуктивность севооборота 4,2 т з.е./га. в год или 40 % выше контроля, оптимизирует гумусное состояние почвы и минеральное питание растений. Минеральная система удобрения — $N_{90} P_{90} K_{90}$ по продуктивности севооборота находится на уровне органоминеральных систем, а при длительном применении снижает в почве содержание органического вещества и способствует накоплению нитратов в почве. Органическая система 9 т/га подстилочного навоза в год уступает органоминеральной по продуктивности севооборота на 16%. В благоприятные по метеорологическим условиям годы установлена возможность роста урожайности зерна у озимой пшеницы до 4,9 т/га. Содержание белка у озимой пшеницы на контрольном варианте (без удобрений) составило — 12,0%; при внесении: $N_{90} P_{90} K_{90}$ — 14,8%; 9 т/га навоза — 12%; $N_{90} P_{90} K_{90} + 9$ т/га навоза — 14,2%; $N_{150} P_{150} K_{150} + 15$ т/га навоза — 14,8% белка соответственно [10].

Цель исследований — на основе экспериментальных данных определить усвоение и использование азота минеральных и органических удобрений озимой пшеницы сорта Губернатор Дона на черноземе типичном.

Методика. Для выполнения поставленной цели был проведен микрополевой опыт на черноземе типичном (на экспериментальном участке Государственного центра агрохимической службы «Белгородский») с сортом озимой пшеницы Губернатор Дона. Сорт мягкой пшеницы создан ГНУ Донской зональной НИИСХ (Ростовская область). Внесен в Госреестр по Центральному Черноземному и Северо-Кавказскому регионам. Рекомендован для

возделывания в Ставропольском крае, Ростовской и Белгородской областях. Сорт среднеранний, ценная пшеница. Высота растений 65–94 см, вегетационный период 235–296 дней, масса 1000 семян 36–47 г. Устойчив к полеганию. Зимостойкость выше средней, засухоустойчивость высокая. Сорт характеризуется выносливостью к длительному нахождению притертой ледяной коркой и устойчивостью к весенним заморозкам. Умеренно восприимчив к секториозу, восприимчив к снежной плесени в полевых условиях средне-восприимчив к бурой ржавчине и мучнистой росе. Средняя урожайность в Северо-Кавказском регионе — 4,5 т/га, в Центральном Черноземном — 4,2 т/га. Содержание белка 14,6 %. Потенциальная продуктивность более 100 центнеров с гектара [7].

Агрохимические показатели чернозема типичного в слое: 0–20 см: pH_{kcl} 6,5, H_r (Каппену) — 1,32 ммоль/100 г почвы, содержание обменных Ca^{2+} — 26,7, Mg — 2,81 ммоль/100 г почвы, сумма поглощенных оснований — 42,6 ммоль/100 г почвы, содержание гуммуса (по Тюрину) — 5,0%, азота общего (по методу Кьельдаля-Йодльбауэра) — 0,23%, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) — соответственно 118 и 140 мг/кг почвы.

Бесподстилочный навоз с влажностью 92,13%, который соответствует ГОСТу 20432–83 относится к жидкому свиному навозу (ЖСН). В опыте применяли жидкий свиной навоз (ЖСН): влажностью 92,13%, при содержании сухого вещества 7,87, pH_{kcl} 8,46, массовой доли органического вещества 6,10%, % сухого вещества 77,51%, массовой доли общего азота 0,54% на исходную влажность, массовой доли общего фосфора 0,30%, массовая доля общего калия 0,22%.

Схема опыта (дозы удобрений г/м²): 1. Контроль без внесения удобрений; 2. P_6K_6 (фон); 3. Фон + аммиачная селитра (Naa) 9 г/м²; 4. Фон + жидкий свиной навоз (ЖСН) (в количестве эквивалентном азоту) + N_9 ; 5. Фон + горчица белая (Г) (эквивалентно азоту) + N_9 ; 6. Фон + жидкий свиной навоз (ЖСН) (эквивалентно азоту) + горчица белая (Г) (эквивалентно азоту) + N_9 .

В качестве органического удобрения использовали горчицу белую (Г), которую выращивали на отдельном участке, растения убирали в период массового цветения, сушили до воздушно-сухого состояния в тени.

Исследования проводили в микрополевым опыте в сосудах без дна изолированные полиэтиленовой плотной пленкой (площадь 45 см х 23 см, глубина 30 см). Повторность опыта четырехкратная. Защитные полосы между сосудами имели ширину 0,5 м. Расположение вариантов рендомизированное.

Горчицу белую и жидкий свиной навоз вносили на глубину 0–20 см за две недели до посева озимой пшеницы с перемешиванием почвенного слоя. Двойной суперфосфат и хлористый калий вносили за четыре дня до посева на глубину 3 см под культивацию вручную. Весной в фазу весеннего кущения (конец апреля) вносили аммиачную селитру (Naa) 9 г/м² между рядками на глубину 2–3 см в бороздку с заделкой в почву. Уборку озимой пшеницы проводили 20 июля 2024 года. Норма высева озимой пшеницы Губернатор Дона составила 600 всхожих зерен на м². Содержание общего азота в зерне и соломе определяли методом Кьельдаля-Йодэ-бауэра. Содержание белка в зерне рассчитывали путем умножения содержания общего азота на коэффициент 5,7. Данные о массе зерна и соломы, а также о содержании белка в зерне обрабатывали с помощью метода дисперсионного анализа (STATVNIA), достоверность различий оценивали по F — критерию Фишера. Коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) рассчитывали разностным методом по отношению к фону Р₆К₆ по формуле:

$$K_u = \frac{V_y - V_{pk}}{N_y} \cdot 100,$$

где V_y — вынос растениями азота в удобренном варианте, V_{pk} — вынос растениями азота по отношению к фону Р₆К₆, N_y — доза внесенного азотного удобрения.

Результаты и обсуждение. Метеорологические условия для выращивания озимой пшеницы были удовлетворительными. ГТК за 2023–2024 гг. вегетационный период составил (1,0) к средне-многолетнему (1,2). Осадков выпало в 1,2 раза меньше, а температура воздуха соответствовала многолетней норме. В микрополе-вом опыте на черноземе типичном на контрольном варианте без внесения удобрений урожайность зерна составила 240 г/м² и соломы 264 г/м² была самой низкой в опыте. При внесении Р₆К₆ урожай возрастал соответственно до 300 и 345 г/м² (таблица 1).

Таблица 1 — Урожайность озимой пшеницы при внесении минеральных и органических удобрений

Вариант	Масса зерна, г/м ²	Зерно		Белок, %	Масса соломы, г/м ²	солома	
		прибавка от фона				прибавка от фона	
		г/м ²	%			г/м ²	%
Контроль без внесения удобрений	240	-	-	9,4	264	-	-
Р ₆ К ₆ (фон)	300	-	-	9,8	345	-	-
Фон + N ₉ весной	400	100	33	11,5	509	163	47
Фон + ЖСН экв.N+ N ₉	422	122	41	12,2	549	204	59
Фон + Г экв.N + N ₉	380	80	27	10,83	471	126	36
Фон + ЖСН экв. N+ Г экв.N+ N ₉	440	140	47	12,4	594	249	72
НСР ₀₅	14			0,10	9,0		

Применение под озимую пшеницу минеральных и органических удобрений увеличивало зерновую продуктивность (таблица 1). Максимальный урожай зерна 440 г/м² и соломы 549 г/м² получен у озимой пшеницы сорт Губернатор Дона в варианте при совместном внесении жидкого свиного навоза (ЖСН), горчицы белой (Г), аммиачной селитры N₉, при этом прибавка зерна составляла 47% и соломы 72% по сравнению с фоном Р₆К₆. Содержание белка в зерне достигало 12,4%.

При внесении аммиачной селитры 9 г/м² прибавка зерна повышалась до 33%, а соломы 47% по сравнению фоном, а при применении ЖСН и N₉ прибавки увеличивались до 41 и 59% соответственно.

В варианте с внесением и Г и N₉ прибавки снизились у зерна до 27% и соломы до 36% по-видимому из-за внесения соломы горчицы белой, азот который закрепилась в почве (таблица 1).

При внесении аммиачной селитры N₉ общий вынос азота повышался по сравнению с контролем и фоновым вариантом и

составлял 11,23 г/м², а при внесении ЖСН и азотного удобрения N₉ достигал 12,54 г/м². В варианте с горчицей белой (Г) и аммиачной селитрой общий вынос азота снижался до 10,05 г/м². Наибольший вынос азота 13,45 г/м² отмечен при совместном внесении минеральных и органических удобрений (таблица 2).

В варианте с внесением аммиачной селитры N₉ г/м² содержание белка в зерне составляло 11,51 %, при внесении ЖСН+ N₉ повышалось до 12,20 %, а в варианте Г+N₉ содержание белка снижалось до 10,83 %. Наибольшее содержание белка в зерне 12,4 % получено в варианте при совместном внесении жидкого свиного навоза, горчицы белой и аммиачной селитры (таблица 2).

Коэффициент использования азота удобрения (КИАУ), рассчитанный разностным методом, составлял при внесении N₉ — 49,0 %, а при внесении ЖСН и N₉ достигал максимального значения — 60,0 %. Отмечено снижение КИАУ до 27,8%, при внесении горчицы белой и аммиачной селитры N₉. При совместном внесении органических и минеральных удобрений был получен КИАУ — 54,5% (таблица 2).

Таблица 2 — Потребление и использование озимой пшеницей азота минеральных и органических удобрений

Вариант	Зерно		Солома		Общий вынос азота, г/м ²	КИАУ, % (разностный метод)
	N, %	вынос, г/м ²	N, %	вынос, г/м ²		
Контроль без внесения удобрений	1,66	3,98	0,47	1,24	5,22	-
P ₆ K ₆ (фон)	1,72	5,16	0,48	1,66	6,82	-
Фон + N ₉ весной	2,02	8,08	0,62	3,15	11,23	49,0
Фон + ЖСН экв. N+ N ₉	2,14	9,03	0,64	3,51	12,54	60,0
Фон + Г экв. N + N ₉	1,90	7,22	0,60	2,83	10,95	27,8
Фон + ЖСН экв. N+ Г экв. N+ N ₉	2,18	9,59	0,65	3,86	13,45	54,5
НСР ₀₅	0,02	0,29	0,01	0,06	0,30	

Заключение. На основе экспериментальных данных, установлено, что в микрополевым опыте на черноземе типичном озимая пшеница формировала наибольший урожай зерна 440 г/м² и массы соломы 594 г/м² при совместном внесении жидкого свиного навоза, горчицы белой и аммиачной селитры, прибавки при этом составляли 47% по зерну и 72% по соломе по сравнению с фоновым вариантом P₆K₆. Общий вынос азота достигал 13,45 г/м², содержание белка 12,4 %. В варианте с внесением жидкого свиного навоза и аммиачной селитры отмечен наибольший коэффициент использования растениями азота удобрений (КИАУ) — 60,0% рассчитанный разностным методом.

Список литературы

- Завалин А. А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистемах: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. — 591 с. ISBN 978-5-9238-027-8
- Лукин С.В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1671–1685. DOI:10.31857/S0032180X23600890.
- Рекомендации по эффективному использованию соломы и сидератов в земледелии / Под ред. академика РАСХН В.Г. Сычева — М.: ВНИИА. 2012. — 44 с.
- Семенова А.И., Отзывчивость различных сортов озимой пшеницы на минеральные удобрения на типичных черноземах // Плодородие. 2020. № 1. С. 7–8. DOI:10.25680/S19948603.2020.112.02
- Сычев В.Г., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А., Новоселов С.И., Комелин А.М. Эффективность внутрипочвенного внесения органических удобрений // Плодородие. 2021. № 4. — С. 33–36. DOI:10.25680/S19948603.2021.121.10
- Тютюнов С.И. Комплексная оценка влияния многолетнего применения удобрений на основные показатели плодородия чернозема типичного // Плодородие. 2021. № 3. С. 45–48. DOI:10.25680/S19948603.2021.120.07
- Эл.ресурс: <https://glavagronom.ru/base/seeds/zernoviepshenica-myagkaya-ozimaya-gubernator-dona-franc-9462994>. Дата обращения 22.01.2024г.

8. Комелин А. М., Новоселов С. И., Мерзлая Г. Е. Агроэкологическая эффективность способов внесения жидкого свиного навоза при возделывании озимой пшеницы // Плодородие. 2023. № 3 (132). — С. 37–40. DOI:10.25680/S19948603.2023.132.09
9. Титова В.И., Рыбин Р.Н. Агроэкология промышленного свиноводства. М.: Изд-во «Сельскохозяйственные технологии». 2020. — 172 с. DOI:10.18720/SPBPU/2z20-16
10. Мерзлая Г.Е., Новикова А.Н. Агроэкологические особенности биологизированных и минеральных систем удобрения в агроценозах // Плодородие. 2025. № 3 (144). С. 48–52. DOI:10.25680/S19948603.2025.144.11

УДК:631.42

**ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
НА СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО
УГЛЕРОДА, АЗОТА И МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ**

¹Н. Е. Завьялова, ²Д. С. Фомин, ²С. С. Скрябина.,
²Я. В. Шляпина

*Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, ул. Культуры, 12, с. Лобаново,
Пермский край, 614532, Россия
e-mail¹: nezavyalova@gmail.com; e-mail²: pniish@rambler.ru*

Аннотация. В длительном полевом опыте 1977 года закладки изучены вопросы трансформации органического углерода и азота дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы под влиянием различных приемов землепользования и проведено сравнение с целинной почвой злаково-разнотравного луга. Установлено, что оптимальным вариантом является типичный севооборот с двумя полями клевера лугового и внесением навоза КРС по 40 т/га в паровое поле, обеспечивающий повышение органического углерода в пахотном (0–20 см) слое на 28,9% относительно исходного уровня за 48 лет ведения опыта. Увеличение доли бобовых культур в структуре севооборота от 16,6% до 50% способствовало повышению содержания органического углерода на 13,6–20,9% относительно его исходного содержания при закладке опыта. Длительное бессменное парование почвы привело к потере одной третьей части органического углерода от исходного уровня. Отмечено повышение в почве уровня общего азота в зависимости от процентного содержания бобовых культур в севообороте от 1048 до 1384 мг/кг. Максимальное количество микробной биомассы определено в типичном для зоны Среднего Предуралья севообороте — 3,4 мг/г почвы, что сопоставимо с целинной почвой луга. Запасы микробной биомассы составили 0,5–2,1 т/га в зависимости

от приемов использования пахотной почвы. В целинной почве запасы Смик составили — 1,9 т/га.

Ключевые слова: севооборот; бессменный пар; монокультура; целина; органический углерод; азот; базальное и субстрат индуцированное дыхание.

INFLUENCE OF LAND USE PRACTICES ON THE CONTENT AND RESERVES OF ORGANIC CARBON, NITROGEN AND MICROBIAL BIOMASS IN SOD-PODZOLIC SOIL

¹N. E. Zavyalova, ²D. S. Fomin, ²S. S. Skryabina,
²Ya. V. Shlyapina

*Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12 Kultury St., Lobanovo, Perm Krai, 614532, Russia
e-mail¹: nezavyalova@gmail.com; e-mail²: pniish@rambler.ru*

Abstract. In a long-term field experience of 1977, the issues of transformation of organic carbon and nitrogen of sod-podzolic heavy loamy soil under the influence of various methods of land use were studied and a comparison was made with the virgin soil of a cereal-grass meadow. It has been established that the optimal option is a typical crop rotation with two fields of red clover and the application of 40 t/ha of cattle manure in the fallow field, which increases the organic carbon content in the topsoil (0-20 cm) by 28.9% compared to the initial level over a period of 48 years. Increasing the proportion of legumes in the crop rotation from 16.6% to 50% increased the organic carbon content by 13.6-20.9% compared to the initial content at the beginning of the experiment. Long-term continuous fallow led to a loss of one-third of the organic carbon from the initial level. The total nitrogen content in the soil increased from 1048 to 1384 mg/kg, depending on the percentage of legumes in the crop rotation. The maximum amount of microbial biomass was determined in a crop rotation typical of the Middle Cis-Urals zone -3.4 mg/g of soil, which is comparable to the virgin soil of a meadow. The reserves of microbial biomass were 0,5-2,1 t/ha, depending on the methods of using arable soil. In virgin soil, the reserves of Smik were -1,9 t/ha.

Keywords: crop rotation; permanent fallow; monoculture; virgin land; organic carbon; nitrogen; basal and substrate-induced respiration

Методика исследований

Исследования проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1977 году на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой окультуренной почве (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) и на стационарном участке целинной почвы, непосредственно примыкающей к опыту. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой стационарного опыта: рН_{KCl} 5.2–5.3; гидролитическая кислотность 2.1–2.3, сумма поглощенных оснований — 21.5–22.0 ммоль/100 г; средневзвешенное содержание гумуса по методу Тюрина — 1.9%, подвижных форм фосфора в пахотном слое 225–240, калия — 196–204 мг/кг почвы. Перед закладкой опыта почва была известкована из расчета по 10 т CaCO₃ на 1 га пашни. В качестве объектов исследования взяты следующие варианты опыта:

1. Бессменный чистый пар;
2. Ячмень бессменно;
3. Сидеральный пар (вика-овес) -оз. рожь- яр. пшеница –вика +овес на зерно - ячмень-овес, (16,6% бобовых);
4. Унавоженный чистый пар — озимая рожь — пшеница яровая + клевер — клевер 1 г.п. — клевер 2 г.п. — ячмень — овес, (28,6% бобовых);
5. Узколистый люпин на зерно - пшеница - овес (33,3% боб.);
6. Занятый пар (клевер 1 г.п.) - озимая рожь - яровая пшеница +клевер-клевер 1 г.п. -клевер 2 г.п. -ячмень-овес с подсевом клевера, (42,9% бобовых);
7. Овес +клевер - клевер 1 г.п. -клевер 2 г.п. –пшеница, (50%);
8. Целинная почва злаково-разнотравного луга

Повторность вариантов в длительном стационарном опыте и на стационарных делянках на залежи — 3-х кратная. Общая площадь делянки — 150 м². Органические удобрения вносили в виде подстилочного навоза КРС только в типичном для почвенно-

климатической зоны Предуралья севообороте (28,6% бобовых) в паровом поле по 40 т/га.

Гранулометрический состав описываемых почв тяжелосуглинистый, содержание физической глины варьирует от 40,2—43,0%. В профиле наблюдается некоторая аккумуляция илистой фракции (менее 0.001 мм) в иллювиальном горизонте и материнской породе. Вынос илистых частиц из верхних горизонтов и перемещение их вниз по профилю является следствием промывного типа водного режима, что характерно для почв дерново-подзолистого типа. В пахотном слое преобладает фракция крупной пыли (0.05–0.01 мм). Почвообразующая порода — желто-бурая некарбонатная покровная глина, сформированная на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, которые характеризуются высоким содержанием обменных форм кальция и магния.

Почвенные образцы на исследование отбирали после уборки урожая в 2020 и 2025 гг. из слоя 0–20 см. Агрохимические анализы воздушно-сухих почвенных образцов проводили по общепринятым методам: гранулометрический состав почвы определяли по методу Качинского. Содержание различных фракций ПОВ: валового органического углерода ($C_{орг}$) оценивали методом бихроматного окисления с титриметрическим окончанием, лабильного углерода ($C_{лаб.}$) — в нейтральной вытяжке 0,1M $Na_4P_2O_7$ по методике почвенного института; углерод, экстрагируемый горячей водой ($C_{гв}$) по Кершенсу. Общий азот почвы определяли по ГОСТ 58596–2019. Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) почвы оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы дополнительным источником углерода и энергии — глюкозой. Навеску почвы (1 г) помещали во флакон (объем 15 мл), добавляли раствор глюкозы (0,1 мл), результирующая концентрация которой составляла 10 мг/г, герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный глюкозой образец почвы инкубировали (3–5 ч при температуре 22°C), затем отбирали шприцем пробу газовой фазы из флакона и вводили в газовый хроматограф Цвет-800 для регистрации CO_2 . Скорость СИД выражали в мкл CO_2 /г почвы в час (Ананьева и др., 2011; Anderson, Domsch, 1978). Скорость базального (микробного) дыхания определяли в нативной (необогащенной) почве (24 ч,

22°C). Измерение БД выполняли как для СИД, а вместо раствора глюкозы в почву вносили воду. Скорость БД выражали в мкг $C-CO_2$ /г час (Ананьева, 2003; Ананьева и др., 2009).

Углерод микробной биомассы ($C_{мик}$) почвы рассчитывали по формуле:

$C_{мик}$ (мкг С/г почвы) = СИД (мкл CO_2 /г почвы в час) $\times$ 40,04 + 0,37 (Ананьева, 2003; Ананьева и др., 2011; Anderson, Domsch, 1978). Математическую обработку результатов проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью вспомогательной прикладной программы Excel.

Результаты и обсуждение

Представленный длительный стационарный опыт интересен тем, что кроме вариантов почв севооборотов с различным насыщением бобовыми культурами имеются делянки с бессменным чистым паром, монокультурой ячменя и залежью. Анализ почвенных образцов за 2020 и 2025 гг. (усредненные данные) показал, что пахотная почва длительного стационарного опыта в зависимости от вариантов опыта имеет слабокислую реакцию среды, высокое содержание подвижного фосфора и калия по Кирсанову, низкое содержание гумуса и общего азота. Почва типичного севооборота с двумя полями клевера и внесением навоза КРС паровое поле по 40 т/га содержала на период обследования гумуса в 1,3 выше, чем при закладке опыта. На варианте бессменного чистого пара без удобрений отмечено снижению гумуса на 29,5%, на варианте бессменного ячменя — на 5,3 % относительно исходного уровня (таблица 1). Роль бобовых культур на накопление в почве органического углерода проявилась слабо в виду их низкой урожайности, узкого отношения C:N в пожнивном — корневых остатках этих культур, что приводит к быстрой минерализации растительной биомассы, поступающей в почву. По данным академика Завалина А. А. прирост гумуса в почве от возделывания бобовых трав в севообороте не превышает 16–20% [1]. В севооборотах с долей бобовых 16,6% и 33,3% повышение углерода в пахотном (0–20 см) слое было не достоверным. Увеличение доли бобовых культур до 42,9 и до 50% в структуре севооборота способствовало повышению содержания органического углерода

на 14–21% относительно исходного уровня. За 48 летний период парования дерново-подзолистая почва потеряла одну треть исходных запасов углерода. Запасы органического углерода в слое 0–20 см в почве бессменного пара на 18.2 т/га меньше, чем в целинной почве злаково-разнотравного луга, в которой определено содержание гумуса на уровне 2,56%, что соответствует целиной почве региона исследований. Бессменное возделывание ячменя без удобрений замедлило темпы минерализации органического вещества, изменило соотношение между выносом и поступлением этих элементов в системе почва — растение. В настоящее время содержание органического углерода в почве под бессменным ячменем составляет 1,04%, запасы углерода в слое 0–20 см — 25.6 т/га.

Таблица 1 — Агрофизические свойства почвы, слой 0–20 см

Объект исследования	pH _{KCl}	S	Hг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O мг/кг	гумус, %	d, г/см ³	Содержание частиц <0.01мм, %
		ммоль/100 г						
Бессменный чистый пар	4,9	20,5	2,62	445	220	1,34	1,26	43,0
Бессменный ячмень	5,0	22,5	2,55	266	270	1,80	1,23	42,6
Севооборот (16,6% бобовых)	4,6	20,5	3,79	329	269	1,95	1,23	41,7
Типичный севооборот с унавоженным паром (28,6% бобовых)	5,2	21,8	2,13	323	296	2,51	1,24	42,9
Севооборот (33,3 % бобовых)	4,9	20,0	3,13	223	244	1,98	1,22	42,3
Севооборот (42,9% бобовых)	4,7	19,9	3,68	293	226	2,15	1,22	40,4
Севооборот (50% бобовых)	4,8	20,9	3,23	416	272	2,30	1,21	41,5
Злаково-разнотравный луг	4,7	17,1	3,10	257	252	2,56	1,20	40,2
НСР ₀₅	0,15	0,34	0,09	5,30	7,57	0,07	0,05	–

Ведение типичного для зоны Среднего Предуралья севооборота с унавоженным паром и двумя полями клевера лугового позволило повысить содержание органического углерода в дерново-подзолистой почве на 28.9% относительно исходного, запасы Сорг в пахотном (0–20 см) слое составили 36.2 т/га, что сопоставимо с почвой залежи. Влияние приемов землепользования на трансформацию органического вещества почвы наиболее эффективно можно оценить по содержанию в ней различных пулов, содержащих органический углерод. Более точным показателем обеспеченности почв активным органическим веществом является содержание потенциально-минерализуемого органического вещества.

Количественное значение потенциально минерализуемого углерода определяли путем измерения количества CO₂ за 20 — суточный период лабораторной инкубации почвы при 60% ППВ и температуре 22 °С, и расчету по уравнениям, изложенным в работе Когута Б.М. и др. [3]. Согласно полученным данным количество C_{пм} в почве бессменного чистого пара составило 185,8 мг/кг (2,38% от общего углерода), что меньше чем в почве севооборота в 1,7 раз. В целинной почве злаково-разнотравного луга сформировалось более высокое содержание потенциально минерализуемого углерода, его доля составила 3,49% от общего углерода почвы. Согласно полученным данным, за вегетационный период в условиях, приближенных к лабораторному эксперименту по инкубированию, почва потенциально может потерять 49,3 до 123,9 кг/га углерода в процессе минерализации органического вещества в зависимости от приемов землепользования.

Наиболее доступным для растений является органический углерод, экстрагируемый горячей водой (C_{эв}), в которую экстрагируются подвижные гумусовые вещества с высокой обогащенностью азотом (C:N=7.7–10). Минимальным содержанием углерода в водной вытяжке характеризуется почва бессменного чистого пара — 110 мг/кг, запасы водорастворимой фракции органического вещества составляют 27.7 кг/га, что в 3,3 раз меньше, чем в целинной почве. В почве злаково-разного луга отсутствует механическая обработка и фитомасса не отчуждается, установилось динамическое равновесие между процессами минерализации

и гумусообразования, содержание $C_{эгв}$ составило 359 мг/кг почвы. Возделывание сельскохозяйственных культур практически в 2 раза повысило содержание легкодоступного для растений и микроорганизмов водорастворимого углерода относительно почвы, длительное время находящейся под паром. Наиболее «молодые», не прочносвязанными с минеральной частью почвы гумусовые вещества, входят в состав 0,1М нейтральной пиррофосфатной вытяжки ($C_{лаб}$). Экстракция гумусовых веществ широко используется для определения лабильного органического углерода в дерново-подзолистых почвах. Наши исследования показали, что в зависимости от типа землепользования, в нейтральный 0,1 М раствор пиррофосфата натрия перешло от 0,13 до 0,31% органического углерода. В пахотной почве бессменного пара органический углерод представлен в основном инертным органическим веществом, составляющим почвенный каркас [29], содержание лабильной части углерода минимально — 0.13% от массы почвы, в почве луга — максимально. Поступление растительных остатков в почву после уборки бессменно возделываемого ячменя, а также, нахождение почвы под покровом культуры способствовало увеличению $C_{лаб}$ до 0.22%. Внесение навоза КРС в паровое поле типичного севооборота и поступление в почву растительных остатков различного количества и качества не изменило существенно содержание лабильной части органического вещества почвы относительно бессменно возделываемой культуры, что по-видимому, связано с высоким выносом элементов питания при возделывании сельскохозяйственных культур. Пожнивнокорневые остатки бобовых трав являются источником легкоразлагаемых органических соединений. Увеличение доли бобовых в структуре севооборота привело к накоплению лабильной фракции почвенного органического вещества.

Запасы органического углерода, извлекаемого нейтральным раствором пиррофосфата натрия, составляют основу активной части органического вещества почвы и являются существенным резервом питательных веществ, их количество варьирует в зависимости от типа землепользования от 3.3 до 13.3 т/га.

Насыщение севооборота бобовыми культурами до 50% способствовало повышению содержания общего азота в почве до

1384 мг/кг (таблица2). Внесение подстилочного навоза КРС по 40 т/га в паровое поле типичного севооборота с двумя полями бобовых трав привело к повышению уровня общего азота до 1498 мг/кг. В целинной почве злаково-разнотравного луга, примыкающего к стационарному опыту, содержание общего азота определено на уровне— 1568 мг/кг.

Таблица 2 — Содержание и запасы соединений азота в слое почвы 0–20 см

Вариант	Н _{общ}	Н _{нг}	Н _{тг}	Н _{лг}	Н _{мин}	Н _{общ}	Н _{нг}	Н _{тг}	Н _{лг}	Н _{мин}
	Содержание, мг/кг					Запасы, т/га				
Бессменный чистый пар	938	$\frac{544}{58,0^*}$	$\frac{212}{22,6}$	$\frac{152}{16,2}$	$\frac{30}{3,2}$	2,36	1,37	0,53	0,38	0,08
Бессменный ячмень	1050	$\frac{557}{53,1}$	$\frac{224}{21,3}$	$\frac{260}{24,8}$	$\frac{9}{0,9}$	2,58	1,37	0,55	0,64	0,02
Севооборот (16,6% бобовых)	1048	$\frac{589}{56,2}$	$\frac{218}{20,8}$	$\frac{230}{22,0}$	$\frac{11}{1,0}$	2,58	1,45	0,54	0,57	0,02
Типичный севооборот с унавоженным паром (28,6% бобовых)	1498	$\frac{1013}{67,6}$	$\frac{266}{17,8}$	$\frac{201}{13,4}$	$\frac{18}{1,2}$	3,72	2,51	0,66	0,50	0,05
Севооборот (33,3% бобовых)	1148	$\frac{639}{55,6}$	$\frac{300}{26,1}$	$\frac{190}{16,6}$	$\frac{19}{1,7}$	2,80	1,52	0,73	0,46	0,09
Севооборот (42,9% бобовых)	1274	$\frac{720}{56,5}$	$\frac{314}{24,6}$	$\frac{216}{17,0}$	$\frac{24}{1,9}$	3,28	1,94	0,77	0,53	0,04
Севооборот (50% бобовых)	1384	$\frac{719}{52,0}$	$\frac{386}{27,9}$	$\frac{246}{17,8}$	$\frac{33}{2,4}$	3,35	1,74	0,93	0,60	0,08
Целина	1568	$\frac{1044}{66,6}$	$\frac{282}{18,0}$	$\frac{226}{14,4}$	$\frac{16}{1,0}$	3,76	2,51	0,68	0,54	0,03
НСР ₀₅	92	-	24	16	2					

*Доля в % от общего азота.

Под влиянием длительного бессменного парования значительно снизилось содержание легкогидролизуемых соединений азота до 152 мг/кг. Его доля в составе общего азота составляет 16,2%. О высокой интенсивности минерализации органических соединений в почве бессменного пара свидетельствует высокое содержание минерального азота — 30 мг/кг, трансформация азотсодержащих органических веществ привела к переходу азота из связанных форм в подвижные.

Содержание фракции трудногидролизуемого азота в составе общего варьирует в зависимости от приемов землепользования в интервале 212–386 мг/кг. В севообороте с насыщением бобовыми до 50% определено высокое содержание легкогидролизуемого азота- 246 мг/кг, что связано с большим количеством свежего органического вещества, поступающего ежегодно в почву, обогащенного азотом и быстрой его минерализацией, о чем свидетельствует высокое содержание минерального азота — 33 мг/кг (2,4% от общего азота), который представлен в основном аммонийным азотом. Быстрая минерализация органических остатков многолетних бобовых трав способствовала усилению биологической активности и накоплению в почве нитратов.

Рассчитанные нами запасы общего азота в пахотной и целинной дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья низкие (2,36–3,76 т/га). Содержание общего азота в бессменном чистом пару определено на минимальном уровне — 938 мг/кг, что вызвано отсутствием минеральных удобрений и растительных остатков, а также интенсивной минерализацией лабильного органического вещества, насыщенного азотом, его потерей при интенсивной обработке почвы и промывном водном режиме.

Интенсивность почвенного дыхания зависит от основных почвенных характеристик, прежде всего, от содержания органического углерода и азота в почве, влажности и температуры почвы [4]. По нашим данным диапазоны варьирования эмиссии CO₂ (базальное дыхание) в пахотном слое (0–20 см) почвы при различном землепользовании варьирует от 2,9 до 15,4 мкг/час/г, (таблица3).

Микробная биомасса является одним из важнейших индикаторов биологической активности почвы. **Доля микробного углерода**

в составе органического углерода почвы, характеризующая степень биологической активности почвенного органического вещества, рассматривается как индикатор доступности субстрата для почвенных микроорганизмов [5–7]. Повышение его значения указывает на закрепление углерода в микробной биомассе.

Таблица 3 — Базальное и субстрат-индуцированное дыхание, микробная биомасса (фаза кущения зерновых, цветения клеверов), 2025 г

Вариант	БД	СИД	С _{мик}	С _{мик} /С _{орг}	Запасы С _{мик}
	мкг/час/г		мкг/г	%	т/га
Бессменный чистый пар	2,9	5,0	200	3,0	0,5
Бессменный ячмень	8,0	13,5	540	5,6	1,3
Севооборот (16,6% бобовых)*	6,8	15,3	613	5,4	1,5
Типичный севооборот с унавоженным паром (28,6% бобовых)	9,8	21,0	841	5,8	2,1
Севооборот (33,3% бобовых) *	5,9	13,5	541	4,7	1,3
Севооборот (42,9% бобовых) *	8,5	17,5	701	5,6	1,7
Севооборот (50% бобовых)	7,3	20,8	833	6,2	2,0
Целина	15,4	19,5	781	5,3	1,9
НСР ₀₅	1,2	8	-	-	-

* — в 2025 году в севообороте была бобовая культура

Доля микробного углерода в составе органического углерода почвы варьирует от 3% в бессменном чистом пару до 6,2 % в севообороте с насыщением бобовыми культурами до 50%. В целинной почве злаково-разнотравного луга С_{мик} составляет

5,3 % от органического углерода почвы. Считается, что уменьшение доли микробного углерода в пахотных почвах до 2–3,5% это неблагоприятный признак, указывающий на нарушение функционирования микробных сообществ [5]. Таким образом в почве бессменного чистого пара наблюдается нарушение функционирования микробоценоза, Смик/Сорг составляет 3,0%. Увеличение доли бобовых в севообороте способствовало обогащенности почвенного органического вещества микробным углеродом и увеличению доли Смик в Сорг до 6,2 %. Увеличение органического углерода в почве не привело к эквивалентному увеличению микробной биомассы, что объясняется различными физико-химическими свойствами почвы изучаемых вариантов опыта. Максимальными запасами микробной биомассы характеризуется почва типичного севооборота и почва севооборота с 50% насыщением бобовыми травами – 2,1–2,0 т/га, что близко по содержанию Смик в целинной почве — 1,9 т/га. Увеличение доли бобовых в севообороте способствовало усилению микробиологической активности дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

Список литературы

1. Завалин А. А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации/ М.: РАН, 2019. 252 с.
2. Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н. Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация//Агрохимия.2021. № 5. С.3–13.
3. Когут Б. М., Семенов В. М., Лукин С. М., Шарков И. Н. Способ определения показателей трансформируемого и инертного органического углерода в почвах: пат. № 2519149 Российская Федерация. № 2012116412/15: заявл. 24.04.2012; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. 6 с.
4. Ананьина Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания//Почвоведение.2011. № 11. С.1327–1333.
5. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1233–1241,
6. Русакова И.В. Изучение экологического состояния микробного сообщества дерново-подзолистой почвы при длительном применении

соломы и минеральных удобрений// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 6. С. 120–124; DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12303>

7. Чимитдоржиева Э. О., Чимитдоржиева Г. Д. Динамика углерода микробной биомассы целинных степных и сухостепных почв Забайкалья // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. № 3, 2012.С.16–20.

**ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА РЕТАРДАНТНОГО ТИПА
НА ЕГО УРОЖАЙНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЦНЗР**

Д. А. Карпович

*АО фирмы «Август», г. Москва
danyay@mail.ru*

Аннотация: в условиях стресса, применение регуляторов роста приводило к снижению продуктивности растений. Установлен положительный эффект от совместного применения биоудобрений и регуляторов роста ретардантного действия на урожайность ярового ячменя Михайловский в условиях Центрального Нечерноземья. В исследованиях проведена разносторонняя оценка действия биоудобрений на элементы структуры урожая, урожайности культуры. Наиболее высокие результаты получены при совместном применении биологических и органоминеральных удобрений и регуляторов роста на основе хлормекватхлорида и эпибрассиналида+ортодифенола.

Ключевые слова: регулятор роста, редарданты, обработка растений, урожайность, ячмень

**INFLUENCE OF TREATMENT OF SPRING BARLEY PLANTS
WITH RETARDANT-TYPE GROWTH REGULATORS ON ITS
PRODUCTIVITY IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL
REGIONS OF THE NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA**

D. A. Karpovich

JSC «August», Moscow, danyay@mail.ru

Annotation: Under stress, the use of growth regulators led to a decrease in plant productivity. The positive effect of the combined use of biofertilizers and growth regulators with a retarding effect on the

yield of Mikhailovsky spring barley in the conditions of the Central Non-Chernozem region has been established. The research conducted a comprehensive assessment of the effect of biofertilizers on the elements of the crop structure and crop yield. The highest results were obtained with the combined use of biological and organomineral fertilizers and growth regulators based on chlorometachloride and epibrassinalide + orthodiphenol.

Keywords: growth regulator, retardants, plant treatment, yield, barley

Введение. На фоне применения высоких доз удобрений, особенно азотных, повышается риск полегания зерновых культур. Это является одной из главных причин, которая препятствует получению стабильно высоких урожаев. В России полегают 30–60 % зерновых от общей площади посевов [6]. Колосья полегших растений сильно поражаются грибными и бактериальными заболеваниями, исключающими использование такого зерна на технические и продовольственные цели.

Различают два типа полегания: корневое — происходит в результате слабого развития корневой системы или избыточного увлажнения пахотного слоя; стеблевое — связано с малой прочностью стебля [6]. Для ячменя характерен второй тип полегания [1].

Особенностью ячменя является то, что первые два междоузлия имеют относительно небольшую толщину, а совокупная их длина в среднем составляет 25 % от общей высоты растений. Излом соломины ячменя происходит чаще всего в этом месте, что делает процесс механизированной уборки практически невозможным.

Для предотвращения данного негативного явления в систему защиты культур включают обработку ретардантами (морфорегуляторами). Под их влиянием происходит укорачивание осевых органов растений, обусловленное значительным торможением деления клеток в субапикальной меристеме стебля при активном функционировании апикальной меристематической зоны, благодаря чему формируются растения с более низким и утолщенным стеблем и укороченными междоузлиями [2].

Однако применение регуляторов роста ретардантного типа на посевах ячменя не всегда приводит к ожидаемым результатам. Поэтому перед нами стояла задача изучить влияние ретардантов различного механизма действия в чистом виде и на фоне биоудобрений на урожайность ярового ячменя в условиях ЦРНЗ РФ.

Материалы и методы. Почва опытного участка, на котором проводили исследования — типична для Центрального района Нечерноземной зоны РФ. Содержание гумуса в пахотном слое от 2,1 до 2,5%, подвижного фосфора и калия 163–173 и 80–120 мг/кг соответственно. Потребность почв в известковании слабая, pH водной вытяжки колеблется в пределах от 5,8 до 6,2. Опыт был заложен методом организованных повторений в четырёх кратной повторности. Учётная площадь делянки 10 м².

Объект исследований — ячмень яровой пивоваренного направления, сорт Михайловский. Агротехника в опыте общепринятая для данной зоны. Предшественник — зернобобовые культуры, норма высева ячменя 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Удобрения рассчитывали балансовым методом на планируемый урожай 50 ц/га. Фосфорные, калийные и часть азотных удобрений вносили под предпосевную культивацию. Дополнительно, в фазе полных всходов культуры были внесены азотные удобрения в дозе 70 кг/га д.в. Перед посевом в 2019 и 2020 годах семена обрабатывали фунгицидным протравителем Ламадор Про КС 0,5 л/т, норма расхода рабочей жидкости 10 л/т.

В опыте изучались регуляторы роста и биоудобрения на основе действующих веществ, представленных ниже:

Препарат 1 — по действующему веществу не имеющий аналогов. В его состав входит эпибрассинолид+ортодифенол. Поступая в растения, препарат вызывает торможение роста клеток молодого стебля в длину и усиливает их деление в поперечном направлении, что увеличивает толщину стебля;

Препарат 2 — действующее (хлормекватхлорид, 750 г/л) механизм действия основан на ингибировании биосинтеза активных изомеров гиббереллинов, способствуя тем самым сокращению длины соломины, лучшему развитию механических тканей и увеличению числа продуктивных стеблей и побегов. Регулятор роста растений, предназначенный для предотвращения полегания посе-

вов зерновых культур в интенсивных технологиях и в неблагоприятных почвенно-климатических условиях [5];

Препарат 3 — действующее вещество 480 г/л этефона, препарат быстро проникает в растение и ускоряет биосинтез этилена в растительных тканях. За счет накопления этилена стимулируется рост корневой системы и сдерживается рост стебля, что приводит к укорачиванию стебля и утолщению второго и третьего междоузлия, стенок соломы, повышение количества продуктивных стеблей [7];

Препарат 4 — представитель группы тринексапак-этила, механизм действия которого основан на ингибировании синтеза гибберелинов. Действующее вещество адсорбируется, главным образом, листовой поверхностью и побегами растений, далее передвигается в области меристематической активности, где ингибирует удлинение стеблевых междоузлий [4];

Препарат 5 — препарат серии «КМ» создан на основе консорциума бактерий рода *Lactobacillus plantarum* 34, *Lactobacillus fermentum* 27, *Lactobacillus lactis. subsp. lactis* AMS, *Saccharomyces cerevisiae* (cartbergebsis), *Azotobacter chroococcum* A-41, *Bacillus megaterium* Ф-3, генетически не модифицированных микроорганизмов, обладающих пробиотической целлюлозоразлагающей, азотофиксирующей и фосфатомобилизирующей способностями [8];

Препарат 6 универсальный — препарат содержит различные азотфиксирующие, фосфатмобилизирующие, молочнокислые и протеолитические почвенные микроорганизмы, которые способствуют переводу труднодоступных элементов из почвы в легкодоступные для растений, в процессе своей жизнедеятельности выделяют аминокислоты и ферменты, необходимые для развития растений, благоприятно влияют на почвообразовательные процессы [9];

Препарат 7 — органоминеральное удобрение на основе бурой водоросли, в состав которого, кроме макро и микроэлементов, входят белки, аминокислоты, углеводы, витамины, клетчатка, органические кислоты, ферменты, каротиноиды, природные антибиотики, стимуляторы роста. Обладает иммуностимулирующим, антибактериальным и фунгипротекторными свойствами, повышает активность фотосинтеза [10].

В 2018 году схема опыта включала следующие варианты:

Обработка растений:

— Препарат 4 — 300 мл/га

— Препарат 1 — 300 мл/га

Обработка семян:

— Препарат 4 — 100 мл/т

— Препарат 1 — 100 мл/т

Обработка семян и растений:

— Препарат 4 — 100 мл/т+300 мл/га

— Препарат 1 — 100 мл/т+300 мл/га

Обработки проводилась в стадии ДК 0 (обработка семян) и ДК 25–29 (фаза середина-конец кущения). Нами были изучены не только рекомендованные производителями сроки применения ретардантов по вегетирующим растениям, но и обработка семян.

В 2019–2020 гг. в схему опыта включили обработку растений био- и органоминеральными удобрениями (таблица 1).

Обработка растений ретардантами проводилась в стадии ДК 30–31 (фаза начала выхода в трубку). Биоудобрения на посеве применялись дважды в фазу 3-го листа ДК 16–18 и в конце выхода в трубку ДК 38–39.

Таблица 1 — Схема опыта

Фактор А	Контроль (без применения удобрений)	Препарат 7 (2 л/га)	Препарат 6 (8 кг/га)	Препарат 5 (2 л/га)
Фактор Б	Контроль (без применения ретардантов)	Контроль (без применения ретардантов)	Контроль (без применения ретардантов)	Контроль (без применения ретардантов)
	Препарат 1 (0,3 л/га)	Препарат 1 (0,3 л/га)	Препарат 1 (0,3 л/га)	Препарат 1 (0,3 л/га)
	Препарат 2 (1 л/га)	Препарат 2 (1 л/га)	Препарат 2 (1 л/га)	Препарат 2 (1 л/га)
	Препарат 3 (1 л/га)	Препарат 3 (1 л/га)	Препарат 3 (1 л/га)	Препарат 3 (1 л/га)

Результаты и обсуждение. Погодные условия вегетационного периода 2018 года отмечались крайне неравномерным распределением осадков и повышенной температурой, и резкими её перепадами. Температура воздуха в среднем была выше на 3 °С среднемноголетних значений, а в первой декаде июля отмечалось резкое кратковременное похолодание. Количество осадков было на уровне среднемноголетних значений. В первой и второй декадах июля в фазе колошения — налива зерна культуры значительно превышало среднемноголетние значения, что способствовало полеганию.

Вегетационный период 2019 года отличался более высокой температурой воздуха в начальный период вегетации и крайне неравномерным выпадением осадков в течение всей вегетации. Так в апреле температура была незначительно выше среднемноголетних значений, а количество выпавших осадков составляло 9,0 мм, что на 77% ниже климатической нормы. В мае и июне температура воздуха была существенно выше среднемноголетних значений (на 5–7 °С). В первой декаде мая количество выпавших осадков превышало норму в 2 раза, однако в дальнейшем их количество было значительно ниже нормы, либо фиксировалось полное отсутствие за декаду.

Резкие колебания в количестве выпадавших осадков за вегетационный период отрицательно сказался на развитии растений и величину урожая. При анализе его структуры нами было отмечено увеличение доли неразвитых зерновок.

Со второй декады июля и до конца августа отмечала резкое падение температуры — ниже среднемноголетних значений. На фоне большого количества осадков, которые выпали во второй декаде июля и первой декаде августа, продолжительность фазы налива зерна существенно увеличилась.

Метеорологические условия вегетационного периода 2020 года отличались обильным выпадением осадков и умеренной температурой воздуха в течение всего периода вегетации ячменя. В первых двух декадах мая количество осадков и температура воздуха были на уровне среднемноголетних, что способствовало хорошему развитию растений. В это время растения находились в фазе всходов — 3-й лист — начало кущения.

Начиная с третьей декады мая и до второй декады июня, количество выпавших осадков превышало среднееголетнее значение в 3...6 раз. За одну декаду выпадало до 120 мм осадков. При этом температурный режим был на уровне среднееголетних значений. В связи с этим создались благоприятные условия для сильного кущения и мощного развития растений, что вызвало в дальнейшем снижение устойчивости растений к полеганию.

В июле месяце количество выпавших осадков значительно превышало среднееголетнее значение, что вызвало увеличение периода вегетации ячменя. Сумма активных температур за период вегетации ячменя составила 1839 С⁰.

В исследованиях некоторых авторов отмечалось, что в условиях засухи обработка ретардантами посевов ячменя не зависимо от сроков применения приводила к усилению стресса у растений, снижению числа зерен в колосе и урожайности [3].

Учитывая засушливые условия вегетационного периода результат от применения препаратов в нашем опыте также оказался отрицательным. Во всех вариантах снижение урожайности составило от 7 до 39%. Минимальное снижение в 3 ц/га наблюдается во варианте с обработкой семян и растений Препаратом 1 в дозе 100 мл/т+300 мл/га (таблица 2).

Таблица 2 — Урожайность ярового ячменя в 2018 году

Вариант		Урожайность, ц/га	% к контролю
Контроль (без обработки)		47,4	100,0
Обработка семян	Препарат 4 (100 мл/т)	35,0	73,8
	Препарат 1 (100 мл/т)	36,2	76,4
Обработка растений	Препарат 4 (0,3 л/га)	39,4	83,1
	Препарат 1 (0,3 л/га)	31,4	66,2
Обработка семян и растений	Препарат 4 (100 мл/т+0,3 л/га)	37,8	79,7
	Препарат 1 (100 мл/т +0,3 л/га)	44,3	93,5

Таким образом, в засушливых условиях вегетационного периода обработка ретардантами независимо от сроков их применения привело к снижению урожайности за счет усиления стресса.

В наших исследованиях в неблагоприятных условиях 2019 г. было отмечено существенное снижение урожайности ярового ячменя при применении морфорегуляторов, особенно в чистом виде. На фоне внесения агрохимикатов на вариантах с морфорегуляторами отмечалось менее резкое уменьшение урожайности. Урожайность ячменя на вариантах с обработкой различными видами удобрений существенно не изменялась и находилась на уровне контрольного варианта.

Урожайность на контрольном варианте составила 42,2 ц/га, обработка растений ретардантами привела к снижению от 15,2 ц/га (на варианте с Препаратом 3) до 2,7 ц/га (на варианте с Препаратом 2). На варианте с Препаратом 1 урожайность снизилась на 9,0 ц/га. Применение биологического удобрения Препарат 5 совместно с регуляторами роста позволило добиться минимального снижения урожайности культуры. Так на вариантах Препаратами 1, 2 и 3 урожайностью составила 43,2, 36,5, 34,0 ц/га соответственно.

Также нами была выявлена определенная закономерность — наибольшее снижение урожайности происходило на варианте с применением Препарата 3 от 15,2 до 8,2 ц/га. Применение данного препарата на ранних фазах развития ярового ячменя в неблагоприятных условиях оказывает существенно влияет на урожайность зерна.

В результате проведенных в 2020 году исследований было установлено, что применение ретардантов в чистом виде обеспечивало прибавку от 0,6 до 7,3 ц/га. При использовании на посевах биоудобрений урожайность возрастала, как в контрольном (с применением только удобрений), так и при совместном применении с регуляторами роста (таблица 3)

В варианте с обработкой растений биоудобрением Препарат 5 совместно с ретардантами Препарат 1 и 2 урожайность составляла 52,1 и 53,3 ц/га соответственно, при этом была получена прибавка относительно варианта без применения регуляторов роста 3,3...4,9 ц/га, а относительно контрольного варианта (без

применения удобрений) в среднем прибавка достигла величины 10 ц/га. Опрыскивание растений органоминеральным удобрением Препарат 7 совместно с регуляторами, также обеспечивало высокий уровень прибавки урожая, которая составляла от 3 до 5,5 ц/га или 7...10% по сравнению с вариантом без применения регуляторов роста.

Таблица 3 — Урожайность ярового ячменя Михайловский в 2019/2020 гг.

Вариант		Урожайность ц/га			
Удобрения	Ретарданты	2019	прибавка, ц/га	2020	прибавка, ц/га
Контроль	Контроль	42,2	0,0	39,6	0,0
	Препарат 1	33,2	-9,0	37,7	-1,9
	Препарат 2	39,6	-2,7	44,6	5,0
	Препарат 3	27,0	-15,2	37,9	-1,7
Препарат 7	Контроль	42,8	0,6	46,8	7,2
	Препарат 1	39,1	-3,1	51,5	11,9
	Препарат 2	33,7	-8,5	48,5	8,9
	Препарат 3	29,7	-12,5	43,3	3,7
Препарат 6	Контроль	42,9	0,7	46,2	6,6
	Препарат 1	38,6	-3,6	45,1	5,5
	Препарат 2	33,3	-8,9	41,4	1,8
	Препарат 3	27,9	-14,3	39,3	-0,3
Препарат 5	Контроль	42,3	0,1	48,4	8,8
	Препарат 1	43,2	1,0	46,5	6,9
	Препарат 2	36,5	-5,7	53,3	13,7
	Препарат 3	34,0	-8,2	48,9	9,3
НСР 005 частных средних			3,59		3,47
НСР 005 для фактора А(удобрения)			1,79		1,73
НСР 005 для фактора В (ретарданты)			1,79		1,73

В результате обработки растений ярового ячменя ретардантом Препарат 3, как в чистом виде, так и при совместном внесении с биоудобрениями не обеспечивало получение прибавки урожая.

Закключение. В результате проведенных исследований установлено, что растения по-разному реагировали на применение регуляторов роста ретардантного типа в различных погодных условиях вегетационного периода. Совместное применение ретардантов с биоудобрениями в засушливых условиях позволяет уменьшить снижение урожайности, а в благоприятных условиях обеспечивает существенную прибавку урожайности.

Список литературы

1. Гатаулина Г. Г., Бугаев П. Д., Долгодворов В. Е.; под ред. Г. Г. Гатаулиной/ Растениеводство: учебник/ - М.: ИНФРА — М, 2017. — 608 с.
2. Кефели В.И. Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений /В.И.Кефели. М.: ВИНТИ, 1990. 157 с.).
3. Привалов Ф. И./ Ретарданты в посевах ярового ячменя. —Защита и карантин растений № 12 / 2012 / 24–26 с.
4. Шаповал О. А., Вакуленко В. В., Можарова И. П./Ретарданты/. — Защита и карантин растений № 8/ 2010/4–7 с.
5. <https://www.avgust.com/>
6. <http://www.ulniish.ru/index.php/o-nas/novosti-i-sobytiya/78-poleganie-zernovykh.> /А.И. Захаров /Статья на сайте ФГБНУ «Ульяновский НИИСХ»
7. <https://betaren.ru/>
8. <https://ntcbio.ru/biogor-km>
9. <https://www.gfd.ru/udobreniya/67-bioplodirin-universalnyj>
10. <https://nest-m.ru>

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ АГРОМАГ®
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР**

А. В. Козлова, Н. И. Аканова

ООО «РГХО», Москва, ул. Павловская, д. 7, alyakozlova@mail.ru

Аканова Наталья Ивановна, д. б. наук

ФГБНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Москва, ул.

Прянишникова, 31а., n_akanova@mail.ru

Аннотация: результаты ряда научно-исследовательских и производственных полевых опытов с магниевыми удобрениями линейки АгроМаг показали, что в различных почвенно-климатических зонах дополнение магнием (а также бором или серой в составе удобрения) систем питания масличных культур способно увеличить урожайность сои на 2 — 8,7 ц/га, подсолнечника — на 1,9 — 6 ц/га, рапса — до 5 ц/га. При этом наблюдалось сохранение качественных характеристик урожая на контрольном уровне или рост масличности семян сои, как, например, в 2-летнем научно-исследовательском опыте Амурской области, где масличность опытных семян выросла относительно фона NPK с 18,6 % до 19,7 % (вариант с внесением гранул) и до 23,3 % (вариант с листовыми подкормками).

Ключевые слова. Система питания масличных культур, магниевые удобрения, соя, подсолнечник, рапс

**MAIN RESULTS OF THE STUDY OF THE INFLUENCE
OF MAGNESIUM FERTILIZERS AGROMAG®
ON THE PRODUCTIVITY OF OIL CROPS.**

A. V. Kozlova, N. I. Akanova

Abstract: The results of a number of research and production experiments with magnesium fertilizers of the AgroMag® line showed

that in various soil and climatic zones, the addition of magnesium (as well as boron or sulfur in the fertilizer) to the nutrition systems of oilseeds can increase the yield of soybeans by 2 - 8.7 c / ha, sunflower - by 1.9 - 6 c / ha, rapeseed - up to 5 c / ha. At the same time, the quality characteristics of the crop were maintained at the control level or the oil content of soybean seeds increased, as in the 2-year research experiment in the Amur Region, where the oil content of the experimental seeds increased relative to the NPK background from 18.6% to 19.7% (variant with the introduction of granules) and up to 23.3% (variant with foliar feeding).

Key words. Nutrition system of oilseeds, magnesium fertilizers, soybeans, sunflower, rapeseed

Производство масличных культур имеет большое значение для развития экономики страны. Получаемая продукция обеспечивает сырьём многие смежные отрасли АПК, чем обуславливается актуальность получения высоких урожаев качественных маслосемян.

По данным Росстата площадь под масличными культурами к 2024 г. выросла относительно 2013 года на 7 млн га (71 %) и составила 18,8 млн га. Из них подсолнечник занял 9,7 млн га, соя — 4,3 млн га, рапс — 2,7 млн га [1].

Кроме того, современные аграрии имеют возможность увеличить валовый сбор продукции растениеводства не только за счёт роста площадей, но и за счёт получения большей урожайности семян повышенного качества с единицы площади благодаря применению оптимизированных агротехнологий, в том числе, грамотной системы питания новых высокопродуктивных сортов и гибридов.

За несколько лет проведения научно-исследовательских полевых опытов и апробации их результатов в условиях производственных испытаний на полях сельскохозяйственных предприятий было изучено влияние магниевых удобрений (таблица 1), источником которых является природный минерал брусит — натуральный гидроксид магния, на рост продуктивности масличных культур в различных почвенно-климатических зонах.

Таблица 1 — Характеристика удобрений линейки AgroMag®.

Наименование показателя	АгроМаг гранулированный	АгроМаг гранулированный марка MgO+B 57:1	АгроМаг гранулированный марка MgO+S 49:20	АгроМаг АктиМакс
Содержание питательных элементов, %				
MgO	61,4	57	49	34,6
S (в пересчёте на SO ₃)	-	-	20	-
B	-	1	-	-
CaO	2,9	1,5	1,5	1,7
N	-	-	-	3,8
Физические свойства				
Внешний вид	Гранулы светло-серого цвета	гранулы от светло-серого до светло-желтого цвета	стабилизированная водная суспензия белого цвета	
Массовая доля гранул размером 1-4 мм, %	90		-	

Гранулированные удобрения применяли под вспашку, под весеннюю культивацию или при посеве. Листовые подкормки применяли в критические фазы развития растений, а именно:

- под сою — 2 подкормки: в фазу 4-го тройчатого листа и в фазу бутонизации или начала налива зерна (в зависимости от целей опыта);
- под подсолнечник — 1 подкормка в фазу 4 — 6 пар листьев;
- под рапс — 2 листовые подкормки: в фазу розетки и фазу стеблевания.

Учеты и наблюдения в опытах проводили по общепринятым методикам.

Результаты эффективности дополнения системы питания масличных в различных почвенно-климатических условиях магнием, серой, бором из гранулированных удобрений АгроМаг® и магнием с помощью листовых подкормок суспензией АгроМаг® АктиМакс представлены в таблицах 2–4 и рисунках 1–3.

Применение удобрений линейки АгроМаг® в различных дозах и сочетаниях способствовало более сбалансированному питанию растений сои и лучшему усвоению ими основных элементов питания из различных почв и NPK-удобрений, что приводило к дополнительному росту урожайности на 1,7 — 8,7 ц/га (9–33 %) в зависимости от региона (таблица 2) [2, 3].

Таблица 2 — Влияние магниевых удобрений АгроМаг® на урожайность сои.

№ п/п	Регион, почва	Удобрение*	Урожайность на опытных полях, ц/га	Прибавка относительной фона NPK	
				ц/га	%
Научно-исследовательские опыты					
1	ДФО, Амурская обл. Чернозёмовидная луговая почва (среднее за 2 года)	АгроМаг гр., 50 кг/га под культивацию	22,0	2,2	11
		3 л/га x 2 раза	22,3	2,5	13
2	ЦФО, Белгородская обл. Чернозём типичный (среднее за 2 года)	АгроМаг гр., 115-122 кг/га под культивацию + АМ, 4 л/га x 2 раза	21,5	2,0	10
		АгроМаг гр., 245 кг/га под культивацию + АМ, 6 л/га x 2 раза	23,3	3,8	19
3	ЦФО, Московская обл. Дерново-подзолистая почва	АгроМаг гр., 120 кг/га под культивацию +АМ, 3 л/га x 2 раза	14,2	2,9	26
		АгроМаг гр., + S 49:20, 150 кг/га +АМ, 3 л/га x 2 раза	15,4	4,1	36
4	ЦФО, Орловская обл. Темно-серая лесная почва	АгроМаг гр., 130 кг/га под культивацию	21,9	2,1	11
		АгроМаг гр., 65 кг/га под культивацию + АМ, 3 л/га	22,8	3,0	15
		АгроМаг гр., 130 кг/га под культивацию + АМ, 3 л/га	23,1	3,3	17
Производственные опыты					
5	ЦФО, Орловская обл. Серая лесная почва	АгроМаг гр., 45 кг/га при посеве + АМ, 5 л/га x 2 раза	21,1	1,7	9
6	ЦФО, Курская обл. Чернозём обыкновенный	АгроМаг гр. MgO+S 49:20, 100 кг/га под культивацию	35,1	8,7	33
7	ЮФО, Краснодарский край Чернозём выщелоченный	АгроМаг гр., 100 кг/га осенью под вспашку	21,8	4,1	23

*АгроМаг гр. — АгроМаг® гранулированный

АМ — АгроМаг® АктиМакс

АгроМаг гр. MgO+S 49:20 — АгроМаг® гранулированный марка MgO+S 49:20

АгроМаг гр. MgO+B 57:1- АгроМаг® гранулированный марка MgO+B 57:1

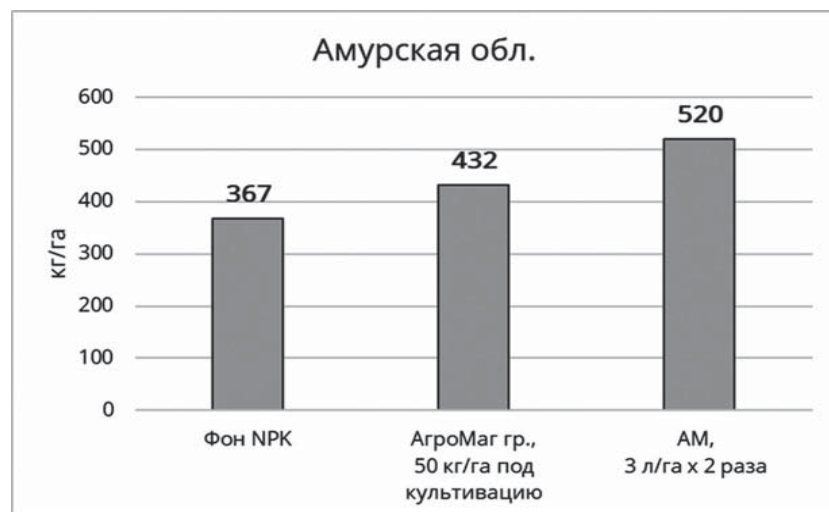


Рисунок 1 — Сбор соевого масла с 1 га сои в зависимости от различных систем питания

Как правило, увеличение урожайности культур чаще всего сопровождается снижением качества продукции. Особенно в случаях, когда растениям не хватает питания.

Важно отметить то, что, в условиях роста урожайности, качество урожая по профилю всех опытов сохранялось на уровне минерального фона или увеличивалось. А это значит, что, благодаря дополнительному питанию магнием, а, в части опытов — и серой, удалось сдержать эффект «ростового разбавления», избежать снижения качества.

Например, в семенах опытных образцов сои, выращенной в Амурской области (опыт № 1), содержание масла увеличивалось относительно фона NPK с 18,6 % до 19,7 % (вариант с внесением гранул) 23,3 % (вариант с листовыми подкормками). Таким образом, сбор соевого масла вырос на 65 — 153 кг/га или на 18 — 42 % (рисунок 1) [2, 4].

Подсолнечник, будучи культурой, требовательной к полноценному питанию для формирования зеленой массы и качественных семян, не менее отзывчив на дополнительное удобрение магнием и бором (таблица 3).

Таблица 3 — Влияние магниевых удобрений АгроМаг® на урожайность подсолнечника

№ п/п	Регион, почва	Удобрение	Урожайность на опытных полях, ц/га	Прибавка относительно фона NPK	
				ц/га	%
Научно-исследовательские опыты					
1	ЮФО, Краснодарский край Чернозём выщелоченный, лугово-чернозёмная почва (среднее за 2 года)	АгроМаг гр., 120 кг/га под культивацию	26,4	1,9	8
		АМ, 6 л/га	27,5	3,0	12
		АгроМаг гр., 120 кг/га под культивацию +АМ 3 л/га	27,4	2,9	12
2	ЮФО, Краснодарский край Лугово-чернозёмная почва	АгроМаг гр. MgO+B 57:1 , 100 кг/га под культивацию	28,8	4,1	17
Производственные опыты					
3	ЮФО, Краснодарский край Чернозём выщелоченный	АгроМаг гр. 100 кг/га осенью под вспашку +АМ, 3 л/га	20,5	3,5	20
4	Республика Беларусь Дерново-подзолистая почва	АМ, 4 л/га	30,0	6,0	25
5	ЦФО, Курская обл. Серая лесная почва	АгроМаг гр. MgO+B 57:1, 100 кг/га под культивацию	32,6	2,8	9

В различных природно-климатических зонах были получены прибавки урожайности семян подсолнечника от 1,9 до 6 ц/га, то есть, в среднем, 3,5 ц/га или (15 %).

Необходимо обратить внимание на то, что в зонах с недостаточным или неустойчивым увлажнением гранулы АгроМаг® следует вносить преимущественно осенью под глубокую обработку почвы. В зонах избыточного, достаточного и умеренного увлажнения применять гранулы допускается как при глубокой заделке (не вымываются из пахотного слоя), так и под культивацию, и при посеве.

В регионах с засушливым климатом рекомендуется отдавать предпочтение листовым подкормкам суспензией АгроМаг® Акти-Макс с целью снижения влияния стрессовых факторов окружающей среды на растения и укрепления во время активного роста и формирования урожая.

Красноармейский район Краснодарского края относится к зоне неустойчивого увлажнения. Здесь часто отмечают осенние и ранневесенние засухи.

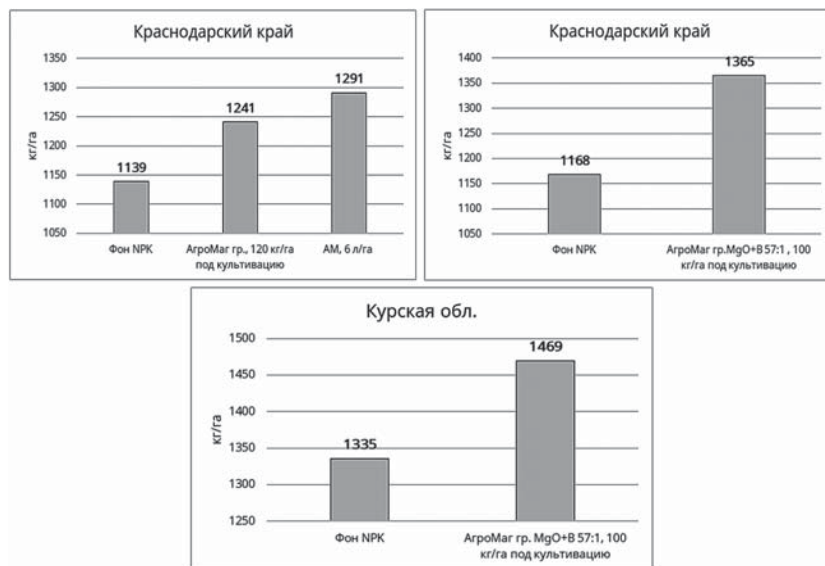


Рисунок 2 — Сбор подсолнечного масла с 1 га в зависимости от различных систем питания

Недостаточное увлажнение на фоне высоких среднесуточных температур воздуха в годы проведения опыта не позволили в полной мере включить магний из удобрения, внесенного в почву в дозе 120 кг/га под весеннюю культивацию, в метаболизм растений подсолнечника (опыт № 1) [5].

В результате была получена прибавка урожая на уровне 1,9 ц/га (8 %) в то время, как однократная листовая подкормка (6 л/га) позволила получить прибавку в размере 3 ц/га (12 %). Совместное же применение 100 кг/га гранул осенью под вспашку с последующей листовой подкормкой (3 л/га) позволило получить прибавку в размере 3,5 ц/га или 20% (опыт № 3) [6].

При этом, в благоприятный по погодным условиям год при отсутствии весенней засухи прибавка урожая от применения нового удобрения АгроМаг® гранулированный марка MgO+B 57:1 под культивацию в Ейском районе Краснодарского края, который относится к зоне недостаточного увлажнения, составила 4,1 ц/га без добавления листовых подкормок (опыт № 2).

Таблица 4 — Влияние магниевых удобрений АгроМаг® на урожайность ярового и озимого рапса.

№ п/п	Регион, почва	Удобрение	Урожайность на опытных полях, ц/га	Прибавка относительно фона NPK	
				ц/га	%
Рапс яровой					
Научно-исследовательские опыты					
1	ЦФО, Московская обл. Дерново-подзолистая почва	АМ, 4 л/га x 2 раза	22,8	1,9	9
		АгроМаг гр., 160 кг/га под культивацию + АМ, 4 л/га x 2 раза	24,3	3,4	16
2	ЦФО, Московская обл. Дерново-подзолистая почва	АгроМаг гр. MgO+S 49:20, 100 кг/га под культивацию + АМ 4 л/га x 2 раза	13,0	2,9	29
Производственный опыт					
3	ЦФО, Орловская обл. Серая лесная почва	АгроМаг гр., 94 кг/га под культивацию + АМ, 4 л/га x 2 раза	36,0	5,0	16
Рапс озимый					
Научно-исследовательские опыты					
1	ЮФО, Краснодарский край. Рисовая лугово-чернозёмная почва	АгроМаг гр., 80 кг/га под предпосевную культивацию	17,6	1,3	8
		АгроМаг гр. MgO+S 49:20, 100 кг/га под предпосевную культивацию	18,8	2,5	15
2	ЦФО, Белгородская обл. Чернозём типичный	АМ, 6,0 л/га в фазе стеблевания	21,7	2,5	13
		АгроМаг гр., 130 кг/га под предпосевную культивацию + АМ, 6,0 л/га	22,5	3,3	17
3	ЦФО, Владимирская обл. Дерново-слабоподзолистая почва	АгроМаг гр., 325 кг/га под предпосевную культивацию	22,1	2,5	13
		АМ, 6 л/га	21,9	2,3	12
		АгроМаг гр., 325 кг/га под предпосевную культивацию + АМ, 6 л/га	24,2	4,6	24

Уровень масличности семян подсолнечника в опытах Краснодарского края и Курской области оставался близким к уровню масличности контрольных вариантов, несмотря на рост урожайности, и составлял 47 и 45 % соответственно.

Прибавки сбора подсолнечного масла составили 102 — 197 кг/га (9 — 17 %) в Краснодарском крае и 134 кг/га (10%) в Курской области относительно контрольных минеральных фонов в опытах (рисунок 2).

Результаты полевых опытов, проведённых с яровым и озимым рапсом, показали, что наиболее эффективными способами увеличения урожайности в большинстве регионов было (таблица 4):

- совместное применение гранул АгроМаг® и суспензии АктиМакс® на фоне NPK;
- добавление в систему питания рапса магния совместно с серой (АгроМаг гранулированный марка MgO+S 49:20).
- При этом, на обыкновенном чернозёме со слабокислой реакцией почвенного раствора (рН 5,3) ведущую роль в формировании прибавки урожайности играла листовая подкормка суспензией АгроМаг АктиМакс (опыт № 2), а в условиях кислых низкоплодородных дерново-слабоподзолистых почв (опыт № 3) внесение как одних гранул АгроМаг в дозе 325 кг/га, так и самостоятельной листовой подкормки суспензией АктиМакс в дозе 6 л/га обусловило получение достоверной прибавки урожая рапса на уровне 2,3 — 2,5 ц/га. Совместное же применение гранул в почву с дальнейшей листовой подкормкой позволило получить самую высокую прибавку урожая в опыте — 4,6 ц/га.

Как и в опытах с соей, добавление мезоэлементов (магний, сера) в систему питания рапса способствовало не только увеличению урожайности на 12 — 29 % относительно минерального фона, но и улучшению качества семян [7, 8].

Масличность семян ярового рапса, выращенного в Московской области на минеральном фоне NPK, составляла 42,8 %. Дополнительное одностороннее удобрение магнием увеличивало масличность до 43,8 %, а с добавлением серы — до 44,1 %. Масличность от совместного применения магния и серы под озимый рапс в Краснодарском крае улучшало параметр масличности с 45,0 до 46,2 %. Это позволило увеличить сбор масла на 91 — 171 кг/га в Московской области и на 72 — 134 кг/га — в Краснодарском крае (рисунок 3).

В Волгоградской области увеличение масличности наблюдалось в варианте с применением на минеральном фоне листовых подкормок суспензией АктиМакс — с 41,6 до 43,8%.

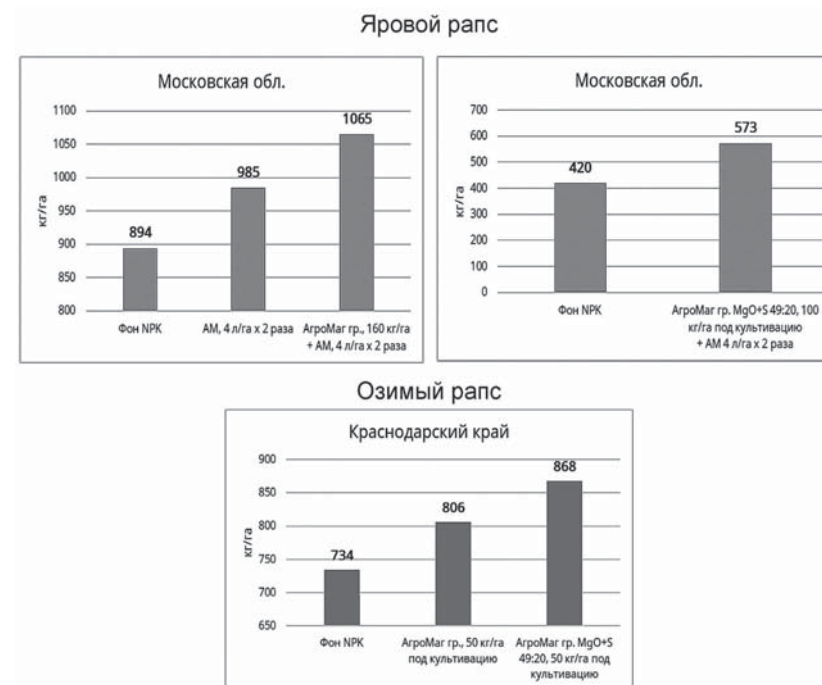


Рисунок 3 — Сбор рапсового масла с 1 га в зависимости от различных систем питания

Высокие прибавки урожая семян озимой формы рапса в опытах от минеральных, в том числе магниевых удобрений, вероятно, обусловлены свойствами магния, которые в неблагоприятных условиях окружающей среды оказывают защитное воздействие на растения, что повышает устойчивость культуры к абиотическим стрессам, стимулирует накопление сахаров и облегчает перезимовку.

Закключение:

Применение удобрений линейки АгроМаг® в различных дозах и сочетаниях способствовало более сбалансированному питанию масличных культур и лучшему усвоению ими основных питательных элементов из различных почв и NPK-удобрений, что

приводило к укреплению растений, дополнительному росту продуктивности и валовому сбору масла.

Урожайность семян сои увеличивалась от дополнительного питания магнием в различных почвенно-климатических условиях на 2 — 4,1 ц/га. Дополнительное питание серой на фоне магния позволяло получить прибавку на уровне 8,7 ц/га. Урожайность подсолнечника увеличивалась на 1,9 — 6 ц/га, ярового рапса — на 2,9 — 5,0 ц/га, озимого рапса — на 1,3 — 4,6 ц/га.

Список литературы

1. <https://rosstat.gov.ru>;
2. Аканова Н. И., Козлова А. В., Фокин С. А., Солнцев П. И. Эффективность применения магниевых удобрений при возделывании сои на различных типах почв // Плодородие. — № 5 (128). — 2022. — С. 55–60;
3. Козлова А. В., Аканова Н. И., Кутырева Д. Е., Серегина И. И. Эффективность магниевых удобрений в повышении продуктивности и качества масличных культур // Плодородие. — 2025. — № 2. — С. 26–30;
4. Доценко Д.С. Влияние применения магниевых удобрений на продуктивность и качество семян сои // Молодёжный вестник Дальневосточной аграрной науки: сб. студ. Науч. Тр. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. вып. 7. — С. 27–33;
5. <https://brucite.plus/articles/vliyanie-magnievyykh-udobreniy-agromag-na-urozhaynost/>;
6. <https://www.agropromyug.com/brusit/2146-magnievye-udobreniya-v-sisteme-pitaniya-podsolnechnika.html>;
7. Шеуджен А. Х., Слюсарев В. Н., Бондарева Т. Н., Лебедевский И. А., Есипенко С. В. Агрономическая оценка магниевых удобрений на посевах озимого рапса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2022. — № 101. — С. 181–188;
8. Аканова Н. И., Козлова А. В., Серегина И. И., Кутырева Д. Е. Эффективность магниевых удобрений на основе природных бруситов и их влияние на урожайность и качество масличных культур // Плодородие. — 2025. — № 1. — С. 9–12.

УДК 631.811:632:631.559

ВЛИЯНИЕ ВНЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ И ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ

И. Г. Козлов

*ФГБНУ ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова
ilyak501@gmail.com*

Аннотация. Представлены результаты разработки ресурсосберегающих технологических приемов применения внекорневой подкормки кремниевым удобрением и влагосберегающими компонентами в технологии возделывания двух урожаев картофеля для повышения продуктивности и снижения стресса растений в изменяющихся условиях климата.

Ключевые слова: урожайность, картофель, сорта, микроэлемент кремний, гидрогель

APPLICATION OF SILICON FERTILIZER IN THE TECHNOLOGY OF CULTIVATION OF TWO POTATO CROPS

I. G. Kozlov

*All-Russian Institute of Agrochemistry named after D. Pryanishnikov
ilyak501@gmail.com*

Abstract. The article presents the results of the development of resource-saving technological methods for the use of foliar feeding with silicon fertilizer and moisture-saving components in the technology of cultivating two potato crops to increase productivity and reduce plant stress in changing climate conditions.

Keywords: yield, potatoes, varieties, microelement silicon, hydrogel

Введение. Картофель является одним из наиболее экономически выгодных сельскохозяйственных культур для удовлетворения потребности в питании растущего населения Земли и пользуется большим спросом, так как клубни картофеля являются важным компонентом рациона питания. Поэтому неудивительно, что в Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия РФ предусмотрено дальнейшее увеличение производства картофеля с учетом развития его экспорта и переработки.

В современных условиях мы наблюдаем изменение климата [1], которая несет серьезную проблему для устойчивого развития картофелеводства [1, 1, 1, 4, 5, 6]. Многие ученые говорят о негативных последствиях изменения климата на урожайность [5,6], за счет снижения площадей под культурой [7], повышения повреждений от имеющихся вредных объектов и появления новых [8], недостатка влаги [9], повышения температуры произрастания [10], которая может оказать негативное влияние на физиологические процессы (фотосинтез, дыхание, распределение ассимилянтов) [11–12] и т.д. Растения постоянно подвергаются абиотическим и биотическим стрессам [2–10]. Стрессы оказывают негативное влияние на процессы фотосинтеза [10, 12], клубнеобразования [13], приводят к снижению урожая и качеству клубней [1–10, 13–14]. При возделывании культуры невозможно повлиять напрямую на эти факторы, но можно смягчить неблагоприятные условия за счет корректировки питания, использования различных препаратов, выбора сортов [10–14].

В настоящие годы имеет место повышенное внимание к здоровому питанию населения и содержанию в продуктах питания необходимых микроэлементов, т.к. дефицит микроэлементов является первопричиной множества функциональных расстройств [1–2]. Микроэлементы в растениях входят в состав ферментов, стимулируют и ускоряют развитие растений, повышают устойчивость растений к неблагоприятным внешним условиям и т.д. [10–14]. При дефиците элементов в почве обязательно будет дефицит этих элементов и в сельскохозяйственной продукции [15]. В Московской области находятся в основном дерново-подзолистые почвы, по данным некоторых ученых, в них содержание микро-

элементов довольно низкое [15]. Одним из важнейших микроэлементов является кремний [16].

Использование кремниевых препаратов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур имеет большую историю, по некоторым данным, исследования роли этого элемента начаты более 200 лет назад [17], по другим данным — 150 лет. Так, в 1814 году Г. Деви изучал формы кремния в растениях и написал трактат о кремнии как об элементе питания растений [17]. В работах Ю. Либиха отмечается важность кремния для увеличения урожайности и улучшения качества продукции. В России кремний привлек почвоведов И.В. Тюрина, К. Гедройца, А.Н. Сабанина, А. Крылова, В.И. Вернадского, А.П. Виноградова [18]. Миграцию кремния в почвах изучали И.И. Плюснина (1980 г.), А.Г. Назаров (1976 г.), Я.М. Амосова, В.Е. Приходько (1979 г.) [19]. Несмотря на развитие фундаментальных знаний в нашей стране, в практике, в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, кремниевые соединения (в том числе можно использовать и шлаки металлургических комбинатов) применения не нашли. Более широко применяется в Японии, для улучшения почвенного плодородия и в Западной Европе, для мелиорации кислых почв как мелиорант [18].

Цель исследования — разработка ресурсосберегающих технологических приемов применения внекорневой подкормки кремниевым удобрением и влагосберегающими компонентами в технологии возделывания двух урожаев картофеля для повышения продуктивности и снижения стресса растений в изменяющихся условиях климата.

Материалы и методы. Работа была выполнена на участке (55.308998 северной широты, 37.797354 восточной долготы) Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии Барыбино в 2022–23 годах, расположенном в микрорайоне Белые Столбы (Московская область, Домодедовский район, микрорайон Белые Столбы).

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Содержание гумуса 2,1% (по Тюрину), подвижного фосфора 16,16 мг/кг, обменного калия 79,09 мг/кг (по Чирикову), кислотность солевой вытяжки — 5,7 ед. рН. (ГОСТ 26483–85). Участок находится на склоне с перепадами высот.

Таблица 1 — Климатические условия вегетационных периодов 2022–2025 гг.

Месяц	Температура воздуха, °С						Осадки, мм					
	I	II	III	Средняя	норма	Отклонение от нормы	I	II	III	выпало	норма	% от нормы
2023												
май	7,1	11,6	19,3	12,6	13,9	-1,3	22,4	4,3	9,3	36	50	72
июнь	20,1	20,1	20,0	20,1	17,6	2,5	51,1	107,1	8,1	166,3	69	241
июль	24,2	23,4	19,8	22,5	19,7	2,8	28,6	28,9	34,7	92,2	70	132
август	18,5	18,3	20,6	19,3	17,7	1,6	23,7	10,1	0,6	34,4	65	53
сентябрь	19,4				11,9		0,0				52	
2024												
май	6,7	11,6	19,8	12,7	13,9	-1,2	25,0	3,4	2,5	30,9	50	62
июнь	20,4	20,9	20,9	20,7	17,6	3,1	26,9	79,3	9,0	115,2	69	167
июль	24,3	23,0	19,8	22,4	19,7	2,7	34,5	29,1	26,3	89,9	70	128
август	18,7	18,8	20,2	19,2	17,7	1,5	15,4	12,6	3,0	31,0	65	48
сентябрь	19,4				11,9		0,0				52	
2025												
май	7,9	10,7	19,7	12,0	13,9		18,0	5,4	18,0	41,4	13,9	
июнь	18,6	15,4	14,6	16,2	17,6		27,0	30,0	13,0	70,0	17,6	
июль	19,9				19,7		15,0				19,7	
август					17,7						17,7	
сентябрь					11,9						11,9	

Объектом исследования являлся картофель сорта Жуковский ранний, Ред Скарлет, суперэлита. Схема посадки 70х30 см. В опыте в качестве фона использовали норму, рассчитанную на урожайность 25 т/га, исходя из наличия в почве азота, фосфора и калия на весенний период. Варианты: 1) контроль без удобрений); 2) Фон NPK (рассчитанная на 25,0 т/га); 3) Фон NPK + кремнийсодержащее удобрение (норма 0,2 кг/га). Кремнийсодержащее удобрение вносится в виде внекорневой подкормки в период бутонизации. Расход рабочего раствора 200 л/га. Посадка первого урожая осуществлялась в конце апреля — начале мая, второго — в начале июля, рендомизированно в 3 кратной повторности, уборка первого урожая — в конце или первых числах июля и второго — в середине сентября. Технология возделывания включала обработку почвы (зяблевая вспашка осенью, фрезерование весной, нарезка гребней перед посадкой), а также уход за растениями (междурядная обработка, окучивание) [21]. Посадка осуществлялась однорядной картофелесажалкой для полевых исследований. Уборка осуществлялась вручную для учета урожайности культуры (Таблица 1)

Применялись общепринятые методы при проведении полевых и лабораторных исследований по культуре картофеля (1967), статистической обработки данных Доспехова Б.А. (1967), дисперсионный анализ (ANOVA) [22].

Результаты исследований. Стрессы, вызванные высокой температурой, засухой влияют на процессы фотосинтеза и существенно снижают рост растений, образованию и росту клубней, что приводит к снижению урожайности и качеству клубней. Величина потери урожайности из-за стрессов зависит от продолжительности, тяжести и стадии роста растений [11, 13]. Ранний стресс, по данным некоторых ученых, наиболее пагубен для клубнеобразования [16–17].

В годы исследований погодные условия вегетационного периода отличались: 2023 год был близок к среднепогодным показателям, аномальных явлений не было. А погодные условия вегетационного периода 2024 года отличались высокими температурами и засушливыми условиями, что вызывает стрессы для растений и в дальнейшем сказалось на развитии

растений, фотосинтезе и соответственно на урожайности. Погодные условия 2025 года большим количеством осадков и перепадами температур, что сказалось на продуктивности картофеля. Данные по урожайности первой и второй посадки представлены в таблице 2.

Самая высокая урожайность в 2025 году, затем в 2024 и меньше всех было в 2023 году по всем сортам, возможно связано с погодными условиями, так как 2025 год отличался повышенным выпадением осадков в вегетационный период.

При добавлении удобрения, рассчитанного балансовым методом на среднюю урожайность 25,0 т/га, дало повышение урожайности на 10,5–15,9 % в зависимости от сорта (Жуковский ранний — 15,9%; Ред Скарлет — 13,9; Варяг — 14,5 и Невский — 10,5%).

Добавление на фон удобрения кремнийсодержащего препарата Апасил повышает урожайность выше, чем при добавлении гидрогеля: еще дополнительно на 6–9 %. Применение гидрогелей совместно с удобрением также сказывается на урожайности: повышение составляет от 19 до 27 %.

Самые максимальные средние урожайности за годы исследований получены при использовании с фоном удобрения сочетания гидрогели и кремнийсодержащего препарата Апасил, в сравнении с контролем урожайность повысилась на 33,9–39,7%. Вероятно, это связано с тем, что гидрогель способствовал повышению водоудерживающей способности почвы и экономному и рациональному использованию запасов продуктивной влаги. Кроме этого добавление кремнийсодержащего удобрения в технологию возделывания также способствовало эффективному использованию влаги и снижению стресса от перепадов температуры и влажности почвы, это отмечается в работах других исследователей [15, 19]. Поэтому совместное применение гидрогеля и кремнийсодержащего препарата Апасил дало максимальные повышение урожайности за счет лучшей влагообеспеченности и снижению стресса от перепадов температуры и влажности почвы, так как стрессы оказывают негативное влияние на процессы фотосинтеза, могут препятствовать клубнеобразованию и росту клубней.

Таблица 2 — Средняя урожайность картофеля в годы исследований при первой и второй посадках, 2023–2024 гг.

	Урожайность, т/га			Среднее за годы исследований
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	
Первая посадка				
с. Жуковский ранний				
Контроль	16,32	10,90	25,75	17,66
Фон (NPK)	19,91	13,01	28,49	20,47
Фон (NPK)+ гидрогель	21,11	14,11	29,85	21,69
Фон (NPK)+ Апасил	21,86	14,33	31,61	22,60
Фон (NPK)+ гидрогель и Апасил	22,50	15,38	33,04	23,64
HCP ₀₅				0,82
с. Ред Скарлет				
Контроль	16,48	12,40	16,23	15,04
Фон (NPK)	17,83	15,11	18,38	17,11
Фон (NPK)+ гидрогель	19,06	16,48	20,02	18,52
Фон (NPK)+ Апасил	20,40	17,66	21,38	19,81
Фон (NPK)+ гидрогель и Апасил	21,46	19,01	22,56	21,01
HCP ₀₅			0,8	0,72
Вторая посадка				
с. Варяг				
Контроль	18,57	16,52		17,55
Фон (NPK)	22,47	17,72		20,10
Фон (NPK)+ гидрогель	22,65	19,11		20,88
Фон (NPK)+ Апасил	25,62	20,27		22,95
Фон (NPK)+ гидрогель и Апасил	26,85	21,61		24,23
HCP ₀₅				1,08
с. Невский				
Контроль	22,43	14,23		18,33
Фон (NPK)	25,19	15,35		20,27
Фон (NPK)+ гидрогель	26,84	16,17		21,51
Фон (NPK)+ Апасил	28,26	16,89		22,58
Фон (NPK)+ гидрогель и Апасил	30,24	19,35		24,80
HCP ₀₅				1,08

Таким образом, внекорневая подкормка кремниевым удобрением совместно с гидрогелем и отдельно способствует повышению урожайности на 33,9–39,7% в зависимости от сорта и погодных условий.

Список литературы

1. Hijmans, R.J. The effect of climate change on global potato production. *Am. J. Potato Res.* 2003, 80, 271–279.
2. Holden, N.M.; Brereton, A.J.; Fealy, R.; Sweeney, J. Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agric. For. Meteorol.* 2003, 116, 181–196.
3. Kumar, S.N.; Govindakrishnan, P.M.; Swarooparani, D.N.; Nitin, C.; Surabhi, J.; Aggarwal, P.K. Assessment of impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *Int. J. Plant Prod.* 2015, 9, 151–170.
4. Rosenzweig, C.; Phillips, J.; Goldberg, R.; Carroll, J.; Hodges, T. Potential impacts of climate change on citrus and potato production in the US. *Agric. Syst.* 1996, 52, 455–479.
5. Sparks, A.H.; Forbes, G.A.; Hijmans, R.J.; Garrett, K.A. Climate change may have limited effect on global risk of potato late blight. *Glob. Change Biol.* 2014, 20, 3621–3631.
6. Van der Waals, J.E.; Krüger, K.; Franke, A.C.; Haverkort, A.J.; Steyn, J.M. Climate change and potato production in contrasting South African agro-Ecosystems 3. Effects on Relative Development Rates of Selected Pathogens and Pests. *Potato Res.* 2013, 56, 67–84.
7. Yun, S.H.; Im, J.N.; Lee, J.T.; Shim, K.M.; Hwang, K.H. Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 2001, 3, 220–237.
8. Yun, S.H.; Im, J.N.; Lee, J.T.; Shim, K.M.; Hwang, K.H. Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 2001, 3, 220–237.
9. Kumar, S.N.; Govindakrishnan, P.M.; Swarooparani, D.N.; Nitin, C.; Surabhi, J.; Aggarwal, P.K. Assessment of impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *Int. J. Plant Prod.* 2015, 9, 151–170.
10. Marinus, J.; Bodlaender, K.B.A. Response of some potato varieties to temperature. *Potato Res.* 1975, 18, 189–204.
11. Гаспарян И.Н. Теоретические и практические основы повышения продуктивности посадок картофеля с использованием декапитации в Нечерноземной зоне Российской Федерации: 05.20.01 — Технологии и средства механизации сельского хозяйства / Гаспарян Ирина Николаевна; Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева. — Москва, 2016. — 250 с.
12. Van der Waals, J.E.; Krüger, K.; Franke, A.C.; Haverkort, A.J.; Steyn, J.M. Climate change and potato production in contrasting South African agro-Ecosystems 3. Effects on Relative Development Rates of Selected Pathogens and Pests. *Potato Res.* 2013, 56, 67–84.
13. Jeong, J.; Kim, S.; Hong, S.; Nam, J.; Sohn, H.; Kim, Y.; Mekapogu, M. Growing environment influence the anthocyanin content in purple- and red-fleshed potatoes during tuber development. *Korean J. Crop Sci.* 2015, 60, 231–238.
14. Raymundo, R.; Asseng, S.; Robertson, R.; Petsakos, A.; Hoogenboom, G.; Quiroz, R. Climate change impact on global potato production. *Eur. J. Agron.* 2018, 100, 87–98.
15. Дыйканова М.Е., Ивашова О.Н., Гаспарян И.Н., Левшин А.Г. Использование микроэлементов в технологии возделывания картофеля // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «Приоритетные направления регионального развития» - Курган, 06 февраля 2020 года, 2020. — с. 670–674.
16. Datnoff L.E., Snyder G., Korndorfer G. Silicon in agriculture. *Studies in plant science.* Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.
17. Davy H. The elements of chemical philosophy. London: J. Johnson and Co., 1812. 564 p.
18. Leibigh J. Organic chemistry in its application to agriculture and plant physiology. London: Taylor and Walton, 1840. 414 p.
19. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые препараты в сельском хозяйстве // *Агрохимия*, 2023. — № 12. — с. 106–113. DOI: 10.31857/S0002188123120049

20. Davis D.E., MacIntire W.H., Comar C.L., Shaw W.M., Winterberg S.H., Harris H.C. Use of ^{45}Ca labeled quenched calcium silicate slag in determination of proportions of native and additive calcium in lysimeter leachings and in plant uptake // Soil Sci. 1953. — V. 76. — № 2. — P. 153–164.
21. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. — 263.
22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат. -1985. — 351 с.

УДК 633.72:631.816:631.445.35 (470.62)

**ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ
ЧАЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ПРИМЕНЕНИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТМЕНЕ
АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ
В СУБТРОПИКАХ
РОССИИ**

Н. В. Козлова

*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28 тел. +7 (918) 902-48-95
E-mail: kozlovanvagro@yandex.ru*

Аннотация. Представлен комплекс изменений параметров плодородия бурых лесных кислых почв, связанных с длительным (26 лет) применением азотных удобрений (в сочетании с РК), а затем их продолжительной (>10 лет) отменой при возделывании чая во влажно-субтропической зоне России (Черноморское побережье, Сочи). В работе обобщён материал многолетних мониторинговых исследований на базе длительного полевого опыта (№ 023 в реестре Геосети), охватывающих все этапы развития модельных агроценозов чая с самого молодого возраста. Описаны основные тренды и количественные изменения азотного, гумусного, кислотно-основного статусов почв и урожайности культуры, регулируемых в первую очередь азотными удобрениями. Наглядно показана эффективность различных доз N в повышении плодородия почв и продуктивности чайных плантаций, а также длительность их последствий (или её отсутствие) и темпы деградации при переходе на экстенсивное возделывание.

Ключевые слова: агроценозы чайных плантаций; интенсивное и экстенсивное возделывание; действие и последствие удобрений; повышение и деградация плодородия

**SOIL FERTILITY AND PRODUCTIVITY OF TEA PLANTATIONS
UNDER LONG-TERM APPLICATION AND SUBSEQUENT
DISCONTINUANCE OF NITROGEN FERTILIZERS
IN THE RUSSIAN SUBTROPICS**

N. V. Kozlova

*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian
Academy of Sciences, Sochi, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru*

Annotation. This paper presents a comprehensive analysis of changes in the fertility parameters of brown forest acidic soils associated with the long-term (26 years) application of nitrogen fertilizers (in combination with PK), followed by their prolonged discontinuance (>10 years) in tea cultivation within the humid subtropical zone of Russia (Black Sea coast, Sochi). The study summarizes data from long-term monitoring studies based on a permanent field experiment (No. 023 in the Geonet registry), encompassing all stages of development of model tea agroecosystems from a very young age. The main trends and quantitative changes in the soil's nitrogen, humus, and acid-base status, as well as crop yield — primarily regulated by nitrogen fertilizers — are described. The effectiveness of different nitrogen (N) application rates in enhancing soil fertility and tea plantation productivity is clearly demonstrated, along with the duration of their residual effect (or lack thereof) and the rate of soil degradation upon the transition to extensive cultivation practices.

Keywords: tea plantation agroecosystems; intensive and extensive cultivation; direct and residual effect of fertilizers; soil fertility improvement and degradation

Вопросы, связанные с плодородием почв, его оценкой, динамикой и прогнозированием, оптимизацией и эффективным управлением, рациональным применением удобрений не теряют своей актуальности в современном мире с быстро растущим населением и сокращающейся площадью земель, пригодных для ведения сельского хозяйства. Говоря о плодородии почвы, мы рассматриваем её утилитарную, но очень важную функцию — обеспечение продовольствием.

Эффективное и экологичное землепользование, сохранение почвенного плодородия актуальны и для влажно-субтропического региона России (Черноморское побережье Западного Кавказа), обладающего уникальными почвенно-климатическими ресурсами для выращивания редких культур. Это единственный регион страны, где возможно возделывание субтропической культуры чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), в свою очередь чай здесь имеет особое значение для сельского хозяйства.

Промышленное чаеводство на побережье началось с закладки чайных плантаций в 1930–40-х годах, а основные массивы были высажены в 1950–60-х годах. К 1980-м годам их общая площадь достигала 1 600 га, ежегодный валовый сбор сырья — более 7 000 тонн, а производство готового чая — около 2 000 тонн [1]. Для агроценозов чая, как многолетней монокультуры, выращиваемой на одном месте многие десятилетия, вопросы поддержания плодородия почв и применения минеральных удобрений особенно актуальны.

В связи с этим особую ценность представляют многолетние мониторинговые исследования динамики плодородия почв, проведенные на базе длительного (40 лет) полевого многофакторного (16 вариантов) опыта с NPK-удобрениями (№ 023 в реестре Географической сети опытов РФ).

Мониторинг охватил все этапы развития опытной плантации, начиная с первых лет после её посадки (в 1983 г.) и молодого возраста, формирования и развития мини-плантаций с различным уровнем плодородия почв и продуктивности шпалер на фоне различной нагрузки удобрениями (1986–2011 гг.) и последующий продолжительный этап экстенсивного возделывания без удобрений (с 2012 г.).

Почва бурая лесная кислая [2], наиболее широко используемая в регионе под чай; место расположения — окрестности пос. Уч-Дере (Лазаревский р-н г. Сочи).

Целью данной работы являлось обобщение основных трендов и количественных параметров изменения плодородия почв, связанных с длительным применением азотных удобрений (как важнейшего компонента в системе удобрения чая), а затем их отменой.



Рисунок 1 — Основные тренды изменения плодородия почв и продуктивности агроценозов чая при длительном применении азотных удобрений

Во-первых, это содержание доступных соединений азота, непосредственно регулируемых внесением N-удобрений. Во-вторых, это содержание гумуса, напрямую и опосредованно регулируемое азотными удобрениями: через рост/падение объемов растительных остатков при повышении/снижении продуктивности культуры; через изменение условий гумусообразования (микробиологической активности и кислотности почвы); непосредственным включением азота в состав органического вещества почвы.

Особенности и динамика формирования, а затем истощения пулов азота и гумуса в почвах чайных плантаций; влияние удобрений и их отмены на урожайность чая изложены в статьях [3–7].

В-третьих, это кислотно-основные свойства; основным фактором, прямо и косвенно ведущем к подкислению почв чайных плантаций (что отмечается в разных регионах мира [8–11]), являются именно азотные удобрения. Причины и механизмы, динамика процесса подкисления в многолетнем ряду в зависимости от нагрузки N-удобрениями, а затем ее отмены в российских субтропиках раскрыты в работах [12–15].

Основные тренды изменения уровня плодородия почв, связанные с применением, а затем отменой азотных удобрений, представлены в двух сводных схемах (рисунок 1 и 2).

Количественные параметры уровней плодородия почв, достигнутые в зависимости от применявшихся доз азотных удобрений (в сочетании с РК), а затем на фоне их продолжительного последствия, представлены в единой сравнительной таблице.

Длительное применение азотных удобрений (в сочетании с различными дозами РК) привело к постепенному повышению **обеспеченности почв азотом**. Однако в связи с большой потребностью в азоте при формировании растущей биомассы молодых растений в течении первых 10–12 лет опыта происходило общее снижение уровня содержания легкогидролизуемого азота и лишь затем последовало его накопление как в самом верхнем, так и более глубоком слое (0–20/20–40 см).

При внесении одинарных доз азотных удобрений (растущих в ходе опыта от 70 до 200 кг д.в./га) его содержание поддерживалось на уровне 70–90/50–70 мг/кг (в 0–20/20–40 см), близком к естественному, и лишь на заключительном этапе достигло более высокого уровня (90–110 мг/кг).

Внесение азотных удобрений в двойных и тройных дозах на этапе молодой плантации (140–180 и 210–270 кг д.в./га) поддерживало содержание легкогидролизуемого азота на уровне 80–100/60–80 мг/кг (в 0–20/20–40 см); на полновозрастной плантации (240–400 и 360–600 кг д.в./га) — обеспечило рост до 140–160 мг/кг.

В почве вариантов без азотных удобрений его уровень опустился в 1,5–2 раза относительно исходного при закладке плантации. В итоге, в результате применения N-удобрений уровень азотной обеспеченности превысил контрольный уровень (без удобрений) в 1,5–2 раза — соответственно на 30/30, 65/50 и 75/55 мг/кг (на фоне 1-2-3-х доз, в слоях 0–20/20–40 см), а естественный уровень лесной почвы — в 1,3–1,7 раза.

Содержание легкогидролизуемого азота в среднем росло со скоростью 1,0–2,3–3,3 мг/кг в год или на 6 мг/кг на каждую тонну азота, внесённого с удобрениями. При этом в его составе росла доля минеральных форм (до 52–70 % по сравнению с 40–45 % на контроле) не только в верхних, но и нижележащих слоях, что

говорит как о возросшем уровне доступного азота, так и о повышенной опасности его непродуктивных потерь.

Урожайность модельных чайных плантаций по средним многолетним данным (1986–2011 гг.) составляла при применении азотных удобрений от 44–52 до 59–74 ц/га и была в 2–3 раза выше, чем без их применения (20–29 ц/га). Для полновозрастных плантаций на заключительном этапе применения удобрений в опыте (2006–2011 гг.) при благоприятных погодных условиях на фоне внесения азотных удобрений она достигала 70–80 ц/га (относительно 20–40 ц/га на вариантах без азотных удобрений).

При этом существенных различий по урожайности между вариантами с одинарными (200 кг д.в./га), двойными или тройными дозами азота (400 или 600 кг д.в./га) на данном этапе опыта уже не проявлялось, что объяснялось одинаково хорошим развитием шпалер и высоким уровнем плодородия почв.

При неблагоприятных для чая погодных условиях урожайность удобряемых плантаций не превышала 30–35 ц/га, что, тем не менее, было в 2–2,5 раза выше, чем без внесения азотных удобрений.

Содержание гумуса в результате регулярного применения азотных удобрений, обеспечивавших высокую урожайность чая и большие объемы органических остатков, постепенно росло (особенно активно в первые 12–15 лет) и затем стабилизировалось на новом более высоком уровне.

На фоне одинарных доз азота он в среднем повысился на 1,5/1,0 %, а двойных и тройных доз — на 2,0/1,3 % (в слое 0–20/20–40 см) по сравнению с исходным уровнем при закладке плантации (3,2/2,5 %), который в свою очередь был ниже, чем под лесом, в результате его минерализации при распахке. На каждую тонну азота, внесенного с удобрениями, содержание гумуса в среднем росло на 0,2 % (в слое 0–20 см).

В итоге общий запас гумуса в почвах повысился относительно исходного на 29,7–41,0/18,8–28,5 т/га (в слоях 0–20/20–40 см). Однако пополнение гумусового запаса шло за счет вновь образованного (молодого, незрелого) гумуса, в котором высока была доля гумина, видимо состоявшего из слабо гумифицированного материала, а также за счет подвижных гумусовых кислот (фульвокислот).

Подкисление почв на заключительном этапе применения удобрений в опыте (2009–2012 гг.) в зависимости от нагрузки азотными удобрениями (всего 3,8–7,6–11,4 т N/га при внесении 1–2–3-х доз N) достигло следующих количественных параметров (в слое 0–20/20–40 см, относительно контроля — без удобрений): pH_{KCl} снизился в среднем на 0,45–0,85/0,25–0,55 единицы; общая гидролитическая кислотность выросла на 10–17/6–14 смоль(экв)/кг (или в 1,6–2/1,4–1,8 раза); обменная кислотность (обусловленная 98–99 % обменным алюминием) выросла на 5–9/3,5–7,5 смоль(экв)/кг (в 2,2–3/1,7–2,5 раза), необменная кислотность (pH -зависимая) увеличилась в среднем на 5–9/2,5–7 смоль(экв)/кг (или в 1,5–1,8/1,2–1,5 раза); содержание обменных оснований (Ca и Mg) снизилось в среднем на 4–9/2–7 смоль(экв)/кг (или в 1,5–3,5/1,3–2,5 раза), а степень насыщенности основаниями — в 2–5/1,5–3,5 раза (с 44/40 % без удобрений до 24–9/28–11 % с удобрениями).



Рисунок 2 — Основные тренды изменения показателей плодородия почв и продуктивности агроценозов чая при последующей продолжительной отмене азотных удобрений

Снижение почвенной кислотности на 0,1 единицы pH при внесении одинарных доз азота шло в среднем за 5 лет, двойных и тройных доз – всего за 4 и 3 года. В среднем на каждую внесенную тонну азота pH_{KCl} снижалось на 0,07–0,10 единицы. При этом в сильно подкисленных вариантах было отмечено сокращение площади кислотной буферности в 1,5–2 раза по сравнению с лесной почвой, при активизации высокочемкой железистой буферной зоны (работающей при переходе в диапазон $pH < 3,2$); снижение кислотно-основного равновесия в 1,5–2,7 раза.

Продолжительная отмена применения азотных удобрений привела к выраженному падению уровня **обеспеченности почв азотом**. Уже в первые 3–4 года было отмечено снижение содержания легкогидролизуемого азота, но при сохранении выраженного доза-зависимого эффекта последствия азотных удобрений; при этом по содержанию минеральных форм азота (суммы нитратного и аммиачного) различий между вариантами уже не было отмечено, все они находились на низком уровне ранее не удобрявшихся почв, подтвердив известный факт, что запас доступных соединений азота формируется лишь на короткий срок. На этапе 8–10-летнего отсутствия удобрений было выявлено 1,2–1,5-кратное падение содержания легкогидролизуемого азота относительно ранее достигнутого. Существенные различия между вариантами опыта уже отсутствовали и не превышали 5–15 мг/кг, слабо сохраняя доза-зависимый эффект последствия азотных удобрений.

Содержание легкогидролизуемого азота везде стабилизировалось на новом низком уровне, близком к естественной обеспеченности почвы под лесом. Падение азотной обеспеченности почв связано с повышенной долей минеральных форм N в ранее длительно удобрявшихся почвах (52–70 % по сравнению с 40–45 % в не удобрявшихся почвах). С падением содержания гумуса связана убыль части азота, ранее иммобилизованного в органо-минеральных соединениях и различных фракциях органического вещества. Но с этой частью азота связано сохранение слабого доза-зависимого эффекта, поскольку видимо она сокращалась несколько медленнее, чем минеральная часть.

В случае обеспеченности почв азотом можно говорить об определенном эффекте последствия азотных удобрений, однако, не очень длительном, беря во внимание быстрое падение содержания минеральных форм. **Потенциальная урожайность** интенсивного сорта Колхида (80–100 ц/га при благоприятных погодных условиях) в отсутствие легкодоступных растениям чая минеральных форм азота из удобрений, а также на фоне падения обеспеченности почв потенциально доступным азотом, не могла быть реализована.

Ранее высокопродуктивные плантации в отсутствие удобрения показали одинаково низкий уровень урожайности (14,8–17,9 ц/га, в среднем за 2019–2022 гг.), что в 2,5–3,3 раза ниже средней урожайности на заключительном этапе применения удобрений и в 2 раза ниже, чем на части плантации, где продолжалось применение удобрений в невысоких дозах (N240P70K90). В отношении урожайности чая эффект последствия азотных удобрений практически отсутствовал.

Содержание гумуса, повышенное в почве всех ранее удобрявшихся азотом высокопродуктивных плантаций, уже на этапе 8–10-летней отмены удобрения достоверно снизилось в среднем на 0,8–1,3 %, то есть до уровня контрольного варианта (что ниже фона на 0,6 %), и затем стабилизировалось на этом новом более низком уровне. Потеря общего запаса гумуса почвами в результате дегумификации составила 14,5–26,5/4,0–11,0 т/га (в слоях 0–20/20–40 см).

Наряду с падением объемов органических остатков при снижении продуктивности плантаций и изменением условий гумусообразования в отсутствие непосредственного влияния минеральных удобрений, причиной потери гумуса являлся качественный состав ранее новообразованного органического вещества. Минерализация гумина (составлявшего большую долю молодого гумуса и состоявшего из слабо гумифицированного материала), а также незрелость и повышенная мобильность гумусовых веществ при снижении объемов их новообразования привели к потере органического вещества за счет выноса при промывном водном режиме.

Таблица 1 — Количественные изменения параметров плодородия почв и урожайности модельных чайных плантаций опыта при длительном применении и последующей отмене азотных удобрений

Нагрузка азотными удобрениями				
Группы вариантов, код*	N0	N1	N2	N3
Дозы, кг N/га в год	0	70 — 200	140 — 400	210 — 600
Итого внесено, тонн N/га	0	3,8	7,6	11,4
Урожайность плантаций, кг/га				
Средняя за 2006–2011 гг.	1970	4500	5220	4570
Средняя за 2019–2022 гг.	1400	1480	1590	1790
Разница	– 570	– 3020	– 3630	– 2780
Легкогидролизуемый азот, мг N/кг почвы (слой 0–20/20–40 см)				
Среднее в 2009–2012 гг.	80/65	110/90	140/105	150/115
Среднее в 2021–2023 гг.	85/70	90/80	95/85	100/90
Разница	+5/+5	–20/–10	–45/–20	–50/–25
Гумус, % (слой 0–20/20–40 см)				
Среднее в 2009–2012 гг.	4,0/3,1	4,6/3,4	5,2/3,5	5,1/3,8
Среднее в 2021–2023 гг.	3,9/3,0	3,9/3,1	3,9/3,1	4,1/3,2
Разница	б.с.р.	–0,7/–0,3	–1,3/–0,4	–1,0/–0,6
Кислотно-основные свойства (слой 0–20/20–40 см)				
pH _{KCl} Среднее в 2009-2012 гг.	3,94/3,86	3,50/3,61	3,25/3,43	3,13/3,30
Среднее в 2021-202 гг.	3,92/3,85	3,72/3,75	3,55/3,60	3,48/3,55
Разница	б.с.р.	+0,22 /+0,14	+0,30/+0,17	+0,35/+0,25
Нгк, смоль(экв)/кг				
Среднее в 2009-2012 гг.	15,3/16,2	25,3/22,1	30,8/28,5	32,5/30,5
Среднее в 2021-2023 гг.	15,4/16,5	21,1/19,0	25,5/24,5	26,5/26,0
Разница	б.с.р.	–4,2/–3,1	–5,3/–4,0	–6,0/–4,5
Нобм (Al), смоль(экв)/кг				
Среднее в 2009-2012 гг.	4,0/5,1	8,8/8,7	11,9/12,0	11,6/12,5
Среднее в 2021-2023 гг.	3,8/5,1	7,6/8,5	10,7/11,8	11,0/13,0
Разница	б.с.р.	–1,2/6.с.р	–1,2/6.с.р	–0,6/+0,5
НрН, смоль(экв)/кг				
Среднее в 2009-2012 гг.	11,3/11,1	16,5/13,4	18,9/16,5	20,9/18,0
Среднее в 2021-2023 гг.	11,6/11,4	13,4/10,5	14,8/12,7	15,0/13,0
Разница	б.с.р.	–3,1/–2,9	4,1/–3,8	–5,4/–5,0

Са+Mg, смоль(экв)/кг				
Среднее в 2009-2012 гг.	11,9/10,7	7,8/8,5	3,4/4,4	3,2/3,9
Среднее в 2021-2023 гг.	11,8/10,6	8,3/8,7	4,1/4,3	3,9/4,0
Разница	б.с.р.	+0,5/6.с.р.	+0,7/6.с.р.	+0,7/6.с.р.
V, % Среднее в 2009-2012 гг.	43,7/39,8	23,6/27,8	9,9/13,4	9,1/11,3
Среднее в 2021-2023 гг.	43,4/39,1	28,3/31,4	13,9/14,9	12,8/13,3
Разница	б.с.р.	+4,7/+3,6	+3,9/+1,6	+3,7/+2,0

Примечания: * — кодирование по количеству одинарных доз N в период применения удобрений; Нгк — гидролитическая кислотность, Нобм (Al) — обменная кислотность (обусловленная подвижным алюминием), НрН — не-обменная pH-зависимая кислотность, Са+Mg — сумма обменных оснований (Са и Mg), V — степень насыщенности почв основаниями; б.с.р. — без существенных различий

Потеря почвами ранее сформированной части гумусового запаса однозначно расценивается как деградация почвенного плодородия в отсутствие удобрений. Темпы дегумификации столь же высоки — 8–10 лет до стабилизации на одинаково низком уровне, как и темпы накопления гумуса — 12–15 лет до стабилизации на более высоком уровне.

Исследование характера **изменения кислотно-основных свойств** почвы модельных чайных плантаций после снятия нагрузки удобрениями показало, что произошло частичное «раскисление» ранее в разной степени агрогенно-подкисленных почв, что проявилось в повышении pH_{KCl} в среднем на 0,20–0,35/0,15–0,25 единицы (в слое 0–20/20–40 см, соответственно); снижении общей потенциальной кислотности в 1,2–1,3 раза (на 4–6/3–4,5 смоль(экв)/кг, соответственно).

При этом достигнутый уровень обменной кислотности, обусловленной обменным алюминием, как и уровень содержания обменных оснований (Са и Mg) сохранились. Раскисление шло за счет снижения необменной (pH-зависимой) кислотности. Её доля в общей потенциальной кислотности сократилась на 3,1–5,9–9,8 %, пропорционально ранее применявшимся дозам азота, что связано с отсутствием новых поступлений кислотоопределяющих компонентов из физиологически кислых удобрений, а также органических кислотных компонентов при снижении содержания гумуса.

При этом было отмечено частичное восстановление параметров кислотно-основной буферности, которое проявилось в увеличении площади кислотной буферной зоны на 25–30 % (сниженной при подкислении в 2–2,5 раза), росте в 1,3 раза степени кислотной буферной способности и индекса кислотно-основного равновесия, при повышении емкости алюминиевой буферной зоны и сохранении резервов железистой зоны буферности.

Поскольку повышенная кислотность почв — важный показатель высокого почвенного плодородия применительно к культуре чая (типичный ацидофил), то частичное раскисление почвы можно расценивать в этом смысле как деградацию, хотя с экологической точки зрения это, безусловно, положительный тренд, указывающий на постепенное восстановление исходного кислотно-основного состояния, свойственного естественным бурым лесным кислым почвам. Темпы раскисления (повышение pH на 0,2–0,35 единицы за 10 лет) сопоставимы с темпами подкисления (снижение pH на 0,1 единицу за 3–5 лет, в зависимости от доз N).

Различия между средними значениями показателей на заключительных этапах агрогенного и постагрогенного периодов отражают среднюю скорость истощения почвенного плодородия (таблица 1).

Таким образом в многолетних исследованиях на базе специального полевого опыта с удобрениями выявлены основные тренды и количественные изменения параметров плодородия бурых лесных кислых почв, связанные с длительным применением и последующей продолжительной отменой азотных удобрений при возделывании чая в субтропиках России. Убедительно показана эффективность различных доз азота в повышении продуктивности чайных плантаций и уровня плодородия почв (азотного, гумусного, кислотно-основного статусов), а также длительность их последствий или её отсутствие. Установлено, что темпы деградации почвенного плодородия, судя по скорости истощения гумусового и азотного запасов при отказе от применения удобрений, столь же высоки (и даже выше) как и темпы его повышения на фоне удобрения. Частичное раскисление почв в отсутствии подкисляющей нагрузки удобрениями (сопоставимое по скорости

с подкислением при интенсивной эксплуатации) может расцениваться как деградационный процесс снижения уровня плодородия почв применительно к ацидофильной культуре чая, но при этом как положительный тренд с точки зрения общего экологического состояния почв — изменения в сторону самовосстановления.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СХЦ РАН FGRW-2024-0001, № госрегистрации 124022000098-6

Список литературы

1. Рындин А.В., Туов М.Т., Малюкова Л.С. Становление, развитие, современное состояние и научное обеспечение отрасли чаеводства в России // Субтропическое и декоративное садоводство. — 2019. — Вып. 69. — С. 9–15. — DOI: 10.31360/2225-3068-2019-69-9-15
2. Классификация и диагностика почв СССР. — М.: Колос, 1997. — 224 с.
3. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Динамика плодородия бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении различных видов и доз минеральных удобрений // Агрохимия. — 2018. — № 2. — С. 34–41. — DOI: 10.7868/S0002188118020035
4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика азотного фонда бурых лесных почв влажных субтропиков России в многофакторном полевом опыте с удобрениями на культуре чая // Плодоводство и ягодоводство России. — 2018 — Т. 53. — С. 138–146.
5. Владыченский А.С., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Гумусное состояние буроземов и его изменение при интенсивном возделывании культуры чая в условиях субтропической зоны РФ // Вестник Московского университета. Сер. 17: Почвоведение. — 2007. — № 4. — С. 10–16.
6. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Динамика содержания гумуса в почвах чайных плантаций субтропиков России при длительном применении минеральных удобрений и без них // Плодородие. — 2022. — № 3. — С. 52–57. — DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.15
7. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Урожайность чая высокопродуктивного интенсивного сорта Колхида при длительном отказе от применения минеральных удобрений // Субтропическое и декоративное садоводство. — 2020. — № 75. — С. 131–140.

8. Owuor P.O., Othieno C.O., Kamau D.M., Wanyoko J.K. Effects of long-term fertilizer use on a high-yielding tea clone AHPS15/10: soil pH, mature leaf nitrogen, mature leaf and soil phosphorus and potassium // *International Journal of Tea Science*. — 2011–2012. — V. 8(1). — P. 15–51.
9. Wang H., Xu R.-K., Wang N., Li X.-H. Soil Acidification of Alfisols as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China // *Pedosphere*. — 2010. — V. 20. — Is. 6. — P. 799–806.
10. Yan P., Shen C., Fan L., Li X., Zhang L., Zhang L., Han W. Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2018. — V. 254. — P. 20–25. — DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.015
11. Yang X., Ni K., Shi Y., Yi X., Zhang Q., Fang L., Ma L., Ruan J. Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2018. — Vol. 252. — P. 74–82.
12. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России // *Агрохимия*. — 2007. — № 9. — С. 3–9.
13. Козлова Н.В. Культура чая и ацидизация почв в условиях субтропиков России: агрохимические и экологические аспекты // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: матер. XIII Междунар. конф., Сочи, 4–8 июня 2018 г. — Москва: РУДН, 2018. — С. 510–515. — ISBN: 978-5-209-08756-4.
14. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Изменение кислотно-основных свойств агрогенно-подкисленных бурых лесных почв после снятия нагрузки удобрениями // *Агрохимический вестник*. — 2021. — № 5. — С. 46–53. — DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-009
15. Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Восстановление буферных свойств агрогенно-измененных почв в отсутствии подкисляющей нагрузки удобрениями // *Плодородие*. — 2022. — № 6. — С. 63–69. — DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.17

УДК 633.31/37

ВЛИЯНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА КЛУБЕНЬКООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ CICER ARIETINUM

Н. И. Кудряшова, И. В. Куцев

ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Астраханская обл., Российская Федерация,
e-mail: stone79.79@list.ru

Аннотация. Одним из самых ценных для аграриев свойств зернобобовых культур, является их азотфиксирующая способность. Так как они усваивают большое количество атмосферного азота и повышают, как свою урожайность, так и урожайность последующих культур севооборота, сокращают применение дорогих минеральных азотных удобрений, то именно эта их особенность и является одним из показателей улучшения плодородия почвы. В Поволжье одной из распространенных зернобобовых культур является нут. Эта культура оказалась очень пластичной к условиям выращивания и даже в сложных климатических условиях (почвенная и воздушная засухи, высокая температура воздуха, сильные ветра) нут дает высокие урожаи. При соблюдении требований агротехники, даже в экстремальных засушливых условиях, нут дает урожай, выше, чем у остальных зерновых и зернобобовых культур. Целью наших исследований являлось изучение влияния обработки семян и растений нута стимуляторами роста растений на его клубенькообразующую способность. Проведенные исследования показали, что обработки ростостимулирующими препаратами оказывают положительное влияние на клубенькообразующую способность нута. Все изучаемые сорта нута обладали высокой клубенькообразующей способностью, но наиболее высокие значения количества и массы клубеньков на 1 растении были отмечены у сорта волгоградской селекции Волжанин 50. Максимальные значения количества и массы клубеньков на 1 растении, были отмечены в фенологическую фазу «начало

образования бобов» на варианте с обработкой семян перед посевом препаратом РизоБаш-Нут + некорневая обработка растений препаратом Аммоний молибденовокислый и составили 147,2 шт и 4,5 г у сорта Волжанин 50.

Ключевые слова: нут, обработка семян, внекорневая подкормка, клубеньки, азотфиксирующие бактерии

EFFECT OF GROWTH-STIMULATING PREPARATIONS ON THE NODULE-FORMING CAPACITY OF CICER ARIETINUM

N. I. Kudryashova, PhD in Agricultural Sciences, Researcher
I. V. Kushchev, Junior Researcher

FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciens», Astrakhan Region, Russia, e-mail: stone79.79@list.ru

Annotation. One of the most valuable properties of leguminous crops for farmers is their nitrogen-fixing capacity. Since they assimilate a large amount of atmospheric nitrogen and increase both their own yield and the yield of subsequent crops in crop rotation, reduce the use of expensive mineral nitrogen fertilizers, this feature is one of the indicators of improving soil fertility. Chickpea is one of the common leguminous crops in the Volga region. This crop turned out to be very flexible to growing conditions and even in difficult climatic conditions (soil and air drought, high air temperature, strong winds) chickpeas give high yields. If agricultural technology requirements are met, even in extreme dry conditions, chickpeas give a yield higher than that of other grain and leguminous crops. The purpose of our research was to study the effect of treating chickpea seeds and plants with plant growth stimulants on its nodule-forming ability. The conducted studies have shown that treatments with growth-stimulating preparations have a positive effect on the nodule-forming capacity of chickpeas. All the studied chickpea varieties had a high nodule-forming capacity, but the highest values of the number and weight of nodules per plant were noted in the Volgograd-bred variety Volzhanin 50. The maximum values of the number and weight of nodules per plant were noted in the phenological phase of "bean formation begin-

ning" in the variant with seed treatment before sowing with RizoBash-Nut + foliar treatment of plants with Ammonium molybdate and amounted to 147.2 pcs and 4.5 g in the Volzhanin 50 variety.

Keywords: chickpeas, seed treatment, foliar feeding, nodules, nitrogen-fixing bacteria

Введение. Зернобобовые культуры занимают очень важное место в мировом земледелии. Зерно, получаемое при их возделывании, употребляют в пищу, как люди, так и животные. В нем содержится более 20,0 % белка, который легко усваивается организмами людей и животных из-за своего аминокислотного состава. Поэтому продукты, получаемые из зерна этих культур, являются важным компонентом в рационе человека, а зерно очень часто используют для приготовления высокопитательных кормов для сельскохозяйственных животных [6,10].

Одним из самых ценных для аграриев свойств зернобобовых культур, является их азотфиксирующая способность. Так как они усваивают большое количество атмосферного азота и повышают, как свою урожайность, так и урожайность последующих культур севооборота, сокращают применение дорогих минеральных азотных удобрений, то именно эта их особенность и является одним из показателей улучшения плодородия почвы [8].

В Поволжье одной из распространенных зернобобовых культур является нут. Эта культура оказалась очень пластичной к условиям выращивания и даже в сложных климатических условиях (почвенная и воздушная засухи, высокая температура воздуха, сильные ветра) нут дает высокие урожаи [2,7,9]. При соблюдении требований агротехники, даже в экстремальных засушливых условиях, нут дает урожай, выше, чем у остальных зерновых и зернобобовых культур [1,3,4]. Актуальным является совершенствование методов его возделывания в Нижнем Поволжье. Одним из приемов возделывания является применение ростостимулирующих препаратов на его продуктивность, а также на его клубенькообразующую способность.

Целью наших исследований являлось изучение влияния обработки семян и растений нута стимуляторами роста растений на его клубенькообразующую способность.

Материалы и методы. Двухфакторный полевой опыт проводился в 2023...2025 гг на опытном поле ФГБНУ «ПАФНЦ РАН». Почвы участка светло-каштановые, слабосуглинистые. Содержание гумуса в верхнем слое почвы (0...0,25 м) составляет 0,9...1,1%. Обеспеченность подвижными формами азота — низкая, фосфора и калия средняя и повышенная. Повторность опыта — 4-х кратная. Общая площадь под опытом — 12000 м². Под каждым вариантом опыта занято 800,0 м².

Опыт закладывался методом расщепленных делянок:

Фактор А (сорта):

Волгоградский 10-st; Волжанин 50; Вектор.:

Фактор В (стимуляторы роста):

- контроль (без обработок);
- предпосевная обработка семян препаратом РизоБаш-Нут;
- предпосевная обработка семян препаратом РизоБаш-Нут + внекорневая обработка Аммоний молибденовокислый в фазу бутонизации;
- предпосевная обработка семян препаратом Стимунол;
- предпосевная обработка семян препаратом Стимунол+ внекорневая обработка Аммоний молибденовокислый в фазу бутонизации.

Закладка опыта и исследования проводились по методике Г.Ф. Никитенко, 1982 г, Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1985. Обработку урожайных данных проводили методом дисперсионного анализа по методике Доспехова Б.А (1985 г).

Агротехника в опыте по выращиванию нута проводилась согласно зональным рекомендациям.

Результаты и обсуждение. Для оценки клубенькообразующей способности нута проводили исследования по определению количества и массы клубеньков на растениях в следующие фенологические фазы: «начало бутонизации», «начало образования бобов» и «созревание бобов» (таблица 1).

Как видно из полученных данных, наиболее активно накопление клубеньков и, соответственно, увеличение их массы происходит в период от начала бутонизации до начала образования бо-

бов. Так, количество клубеньков на одном растении в фазу «начало бутонизации» составило в среднем по вариантам 58,2 шт у сорта Волгоградский 10, 68,5 шт у сорта Волжанин 50 и 67,0 шт у сорта Вектор, тогда как в фазу «начало образования бобов» количество клубеньков было уже 130,4 шт у сорта Волгоградский 10, 139,2 шт у сорта Волжанин 50 и 135,6 шт у сорта Вектор.

Количество клубеньков в фазу «созревание бобов» было ниже, чем в фазу «начало образования бобов», но выше, чем в фазу «начало бутонизации» и составило, в среднем по вариантам опыта 128,2 шт. Масса клубеньков на одном растении варьировала в среднем от 1,2 г в фазу «начало бутонизации» до 3,7 г в фазу «начало образования бобов», но в фазу «созревание бобов» снизилась до 3,4 г. Это можно объяснить тем, что в период образования бобов растения нута использовали азот из клубеньков для питания.

Обработки семян и растений ростостимулирующими веществами оказали существенное влияние на количество и массу клубеньков на 1 растении. Так, на контрольном варианте (без обработок), в среднем по обработкам, количество клубеньков было ниже, чем на вариантах с применением стимуляторов роста на 28,9 шт у сорта Волгоградский 10 и на 23,4 шт у сортов Волжанин 50 и Вектор. Максимальное количество клубеньков на 1 растении в фазу «начало образования бобов» было зафиксировано на варианте опыта с обработкой семян перед посевом препаратом РизоБаш-Нут + некорневая обработка растений препаратом Аммоний молибденовокислый в фазу «бутонизация» у сорта Волжанин 50 и составило 147,2 шт, что на 39,9 шт больше, чем на контрольном варианте (без обработок) у сорта Волгоградский 10. Обработка семян нута перед посевом препаратами РизоБаш-Нут и Стимунол привела, в среднем по сортам, к повышению количества клубеньков по сравнению с контролем (без обработки) на 26,0 и 21,0 шт, соответственно. На вариантах опыта с применением обработки семян и дополнительными внекорневыми обработками растений Аммонием молибденовокислым превышение над контрольными вариантами составило 30,6 шт при использовании препарата РизоБаш-Нут и 23,3 шт при применении симулятора Стимунол.

Таблица 1 — Количество и масса клубеньков по вариантам опыта, среднее за 2023–2025 гг.

Сорт	Стимулятор роста	Количество клубеньков на 1 растении, шт.			Масса клубеньков на 1 растении, г		
		Начало бутонизации	Начало образования бобов	Созревание бобов	Начало бутонизации	Начало образования бобов	Созревание бобов
Волгоградский 10	Контроль (без обработок)	57,2	107,3	97,5	1,0	2,9	2,7
	РизоБаш-Нут	58,1	137,0	128,4	1,1	3,5	3,0
	РизоБаш-Нут + Аммоний молибденовокислый	59,4	145,4	129,5	1,2	3,9	3,4
	Стиммунол	57,9	129,8	128,0	1,1	3,3	3,0
	Стиммунол + Аммоний молибденовокислый	58,3	132,7	128,7	1,1	3,7	3,4
Волжанин 50	Контроль (без обработок)	68,0	120,5	116,0	1,3	3,6	3,5
	РизоБаш-Нут	69,0	145,4	139,1	1,3	3,9	3,7
	РизоБаш-Нут + Аммоний молибденовокислый	68,6	147,2	139,9	1,4	4,5	3,7
	Стиммунол	68,3	140,2	135,3	1,3	3,8	3,5
	Стиммунол + Аммоний молибденовокислый	68,6	142,7	136,1	1,2	4,0	3,7
Вектор	Контроль (без обработок)	67,1	116,9	102,5	1,2	3,4	3,2
	РизоБаш-Нут	67,0	140,4	136,3	1,1	3,8	3,5
	РизоБаш-Нут + Аммоний молибденовокислый	67,2	143,8	138,6	1,3	4,2	3,9
	Стиммунол	66,9	137,7	132,8	1,1	3,6	3,3
	Стиммунол + Аммоний молибденовокислый	67,0	139,2	134,0	1,2	3,9	3,5

НСП ₀₅ (общ.) 2023г	-	2,0	1,5	3,1	0,1	0,3	0,1
НСП ₀₅ (общ.) 2024г	-	1,9	1,9	3,7	0,2	0,3	0,2
НСП ₀₅ (общ.) 2025г		2,1	1,5	3,4	0,1	0,2	0,2

Максимальная масса клубеньков на 1 растении в фазу «начало образования бобов» была отмечена у сорта Волжанин 50 на варианте опыта «РизоБаш-Нут + Аммоний молибденовокислый» и составила 4,5 г, что превысило значения этого показателя на контроле на 0,9 г.

Сортовые особенности нута также имели влияние на количество клубеньков на 1 растении и массы клубеньков на 1 растении. Максимальное количество клубеньков на 1 растении в фазы «начало бутонизации» и «начало созревания бобов» было отмечено у сорта Волжанин 50 на всех вариантах опыта. Минимальное количество и масса клубеньков на 1 растении на всех вариантах опыта было отмечено в фазу «начало образования бобов» у сорта Волгоградский 10 (стандарт) и в среднем составило 130,4 шт и 3,5 г, соответственно.

Заключение. Проведенные исследования показали, что обработки ростостимулирующими препаратами оказывают положительное влияние на клубенькообразующую способность нута. Наиболее активно накопление клубеньков на растениях нута происходило в период от начала бутонизации до начала образования бобов. В фазы «начало бутонизации» и «созревание бобов» значения этих показателей было ниже, чем в фазу «начало образования бобов». Все изучаемые сорта нута обладали высокой клубенькообразующей способностью, но наиболее высокие значения количества и массы клубеньков на 1 растении были отмечены у сорта волгоградской селекции Волжанин 50. Максимальные значения количества и массы клубеньков на 1 растении, были отмечены в фенологическую фазу «начало образования бобов» на варианте с обработкой семян перед посевом препаратом РизоБаш-Нут + некорневая обработка растений препаратом Аммоний молибденовокислый и составили 147,2 шт и 4,5 г у сорта Волжанин 50.

Список литературы

1. Балашов, В. В., Влияние гидротермических условий на элементы структуры урожая и урожайность сортов нута на каштановых почвах Волгоградской области / В. В. Балашов, А. В. Балашов, А. А. Малахова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2. С. 17–23.
2. Балашов, В.В. Особенности роста и развития сортов нута волгоградской селекции на каштановых почвах Волгоградской области / В. В. Балашов, А. В. Балашов, А. А. Малахова, В. А. Балашов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1. С. 36–45.
3. Васильченко, С. А. Влияние технологических приемов возделывания на урожайность нута в южной зоне Ростовской области / С. А. Васильченко, Г. В. Метлина // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 32–37.
4. Васильченко, С. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и содержание белка в зерне нута при возделывании в южной зоне Ростовской области / С. А. Васильченко, Г. В. Метлина, Н. В. Нехорошова // Зерновое хозяйство России. 2017. № 4. С. 48–53.
5. Зверев, С. В. Дробленая крупа из нута / С. В. Зверев, О. В. Политуха, Л. В. Ванина // Пищевая промышленность. 2021. № 4. С. 46–49.
6. Зотиков, В. И. Зернобобовые культуры - важный фактор устойчивого экологически ориентированного сельского хозяйства / В. И. Зотиков, Т. С. Наумкина, Н. В. Грядунова, В. С. Сидоренко, В. В. Наумкин // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 1 (17). С. 6–13.
7. Особенности селекции нута в Поволжье / В. И. Жужукин, В. С. Горбунов, С. А. Зайцев, Д. П. Волков // Зерновое хозяйство России. 2017. № 6. С. 21–24.
8. Isolation and Characterisation of *Rizobium* from Chickpea (*Cicer arietinum*) / ZeenatWadhwa, Vivek Srivastava, Raj Rani, Tanvi, KanchanMakkar and SumitJangra // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. V. 6. No 11. Pp. 2880–2893.
9. Maqbool M. A., Aslam M., Ali N. Breeding for improved drought tolerance in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) // Plant Breeding. 2017. V. 136. P. 300–318.
10. Talebi R., Naji A.M., Fayas F. Geographical patterns of genetic diversity in cultivated chickpea (*Cicer arietinum* L.) characterized by amplified fragment length polymorphism. Plant Soil Environ. 2008; 54, 447–452.

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ

¹А. Г. Левшин, ²И. Н. Гаспарян

¹ ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская,
д.49, Москва, 127434, Российская Федерация

² ФГБНУ ВНИИ Агрохимии имени Д. Н. Прянишникова,
ул. Прянишникова, 31а, Москва, 127434, Российская Федерация
E-mail: alev200151@rambler.ru

Аннотация. Проанализированы практики применения технологий по адаптации к изменениям климата. Разработана и апробирована на базе многолетних экспериментальных данных методика кластеризации климатических факторов (средняя за декаду температура и средние за декаду осадки) с использованием аналитической платформы Loginom 7.2. по результатам шести летних исследований по возделыванию двух урожаев 11 ранних сортов картофеля. Для согласования климатических характеристик с фазами развития картофеля использовали сквозную нумерацию декад вегетационного периода для первой и второй посадки. Приведена программа расчета и качественный анализ данных. Приведен анализ результатов кластеризации. Определены для каждой посадки наиболее благоприятные кластеры, приведен анализ критических сочетаний факторов и предложены возможные агротехнические приемы для компенсации не благоприятных условий. Рекомендовано использовать вероятности появления кластеров для вероятностной оценки природно-климатических факторов при использовании алгоритмов теории игр с природой для обоснования выбора наиболее приспособленных сортов. При получении дополнительных данных методика допускает переобучение и возможность увеличения точности прогноза. Цель исследования разработка методики кластеризации климатических факторов (средняя темпе-

ратура и средние осадки за декаду) за вегетационный период первой и второй посадки картофеля при возделывании двух урожаев ранних сортов за многолетний период.

Ключевые слова: климатические характеристики, два урожая картофеля раннего, кластеризация, вероятности кластеров, центры кластеров, статистические характеристики кластеров

CLUSTER ANALYSIS OF CLIMATIC FACTORS IN CULTIVATION OF TWO POTATO CROPS

*Alexander Grigorievich Levshin¹
Irina Nikolaevna Gasparyan²*

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural
Academy, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434,
Russian Federation

² All-Russian Institute of Agrochemistry named after D. Pryanishnikov,
Pryanishnikov str., 31a, Moscow, 127434, Russian Federation
E-mail: alev200151@rambler.ru

Abstract. The article analyzes the practices of applying technologies for adaptation to climate change. A methodology for clustering climatic factors (average temperature per decade and average precipitation per decade) has been developed and tested on the basis of long-term experimental data using the Loginom 7.2 analytical platform. Based on the results of six summer studies on the cultivation of two harvests of 11 early potato varieties. To match the climatic characteristics with the phases of potato development, a continuous numbering of the decades of the growing season for the first and second planting was used. A calculation program and qualitative data analysis are provided. An analysis of the clustering results is given. The most favorable clusters are determined for each planting, an analysis of critical combinations of factors is given, and possible agrotechnical methods are proposed to compensate for unfavorable conditions. It is recommended to use the probabilities of cluster occurrence for a probabilistic assessment of natural and climatic factors when using algorithms of game theory with nature to justify the choice of the most adapted varieties. Upon re-

ceipt of additional data, the methodology allows for retraining and the possibility of increasing the accuracy of the forecast. The purpose of the study is to develop a methodology for clustering climatic factors (average temperature and average precipitation per decade) for the vegetation period of the first and second potato plantings when cultivating two harvests of early varieties over a long-term period.

Key words: climatic characteristics, two harvests of early potatoes, clustering, cluster probabilities, cluster centers, statistical characteristics of clusters

Введение. Особенностью сельскохозяйственного производства в Российской Федерации является то, что более 70 % территории относится к зоне рискованного земледелия. Это предопределяет риски получения гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур из-за климатических факторов и прежде всего температуры и влагообеспеченности. По данным Росгидромета за последние 50 лет средняя температура на планете увеличилась на 1,2 °С, продолжительность вегетационного периода в целом по сельскохозяйственной зоне РФ в среднем на 3–4 дня за каждые 10 лет. Сумма биологически активных температур увеличилась до 2600 °С, что создает условия для выращивания двух урожаев картофеля в условиях Московской области.

Проведенные исследования по возделыванию двух урожаев картофеля ранних сортов в УНПЦ Овощная опытная станция ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва (55.8385770, 37.5499290) на полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2017–2022 годах подтвердили справедливость этой гипотезы [1].

Анализ результатов показал большую вариацию урожайности по сортам и годам исследования. В связи с тем, что для зоны рискованного земледелия велика опасность природных катаклизмов, которые не могут быть достоверно предсказаны [2]. Имея огромную базу по метеорологическим наблюдениям, сложных систем взаимосвязи между факторами производства и продуктивностью (рисунок 1) традиционные методы статистического и регрессионного анализа не позволяют получить достоверные знания из имеющейся информации [3].

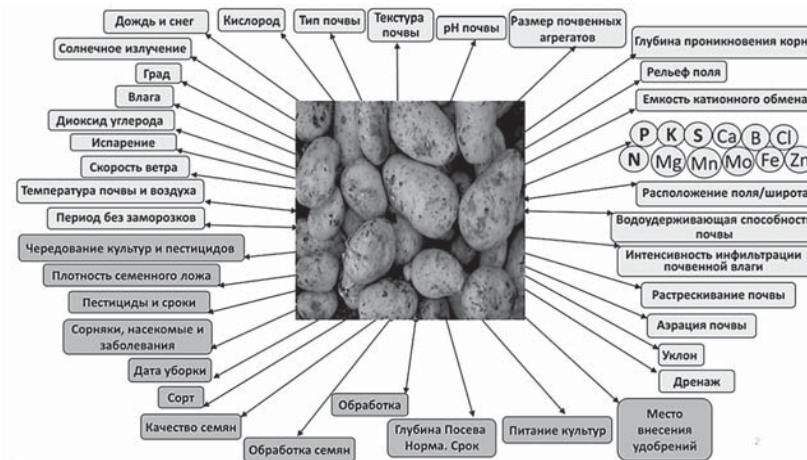


Рисунок 1 — Основные группы действующих факторов (материалы Дня поля 2025)

Для производственной реализации предлагаемой технологии необходимо провести исследования по оптимизации агротехнологических факторов с учетом почвенных и климатических условий. Одним из важнейших вопросов, которые должен решать производитель — выбор сорта или доли сортов. Для решения данной задачи целесообразно использовать теорию игр с природой, позволяющую формализованными методами определить стратегии выполнения работ с гарантированным результатом. Это направление экономико-математического моделирования в настоящее время активно развивается [4]. Для реализации алгоритма необходима вероятностная модель климатических характеристик. Эту задачу для больших данных (Big Data) возможно решить с использованием методов искусственного интеллекта — кластерного анализа [5].

Кластерный анализ позволяет группировать многомерные объекты по отдельным наблюдениям в виде точек геометрического пространства с последующим выделением групп, как «сгустков» этих точек [5]. В результате получаем разбиение множества точек на группы (кластеры) по выбранному критерию. Каждый кластер объединяет максимально схожие между собой точки.

Методы кластерного анализа активно развиваются с 60-х годов. В настоящее время эти методы используют в многих отраслях экономики, социологии, метеорологии и в сельском хозяйстве (группировка полей, неоднородности почв по плодородию и другим задач) [6, 7, 8, 9,].

Цель исследования разработка методики кластеризации климатических факторов (средняя температура и средние осадки за декаду) за вегетационный период первой и второй посадки картофеля при возделывании двух урожаев 10 ранних сортов за 6 летний период наблюдений.

При факторном анализе климатические характеристики оценивали средней за декаду температурой и осадкам, эффективность процесса оценивали средними значениями урожайности (г/куст) для 10 сортов картофеля раннего за 6 лет — с 2017 по 2022 гг. Косвенным показателем, оценивающим календарные сроки и согласование с фазами развития использовали порядковый номер декады месяцев вегетационного периода (таблица 1).

Таким образом, в качестве исходной использовали многомерную матрицу 6x9x10 для 1-ой посадки и 6x8x10 для 2-ой посадки. По сути получаем кросс-таблицу, отображающую многомерные данные на двумерной плоскости [10].

Таблица 1 — Сроки для первой и второй посадки

Посадка 1	апрель	май			июнь			июль	
Декада	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Порядковый номер декады	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Посадка 2	Июль		Август			Сентябрь			-----
Декада	2	3	1	2	3	1	2	3	-----
Порядковый номер декады	1	2	3	4	5	6	7	8	-----



Рисунок 2 — Программа для расчета

Методы и методология. Кластеризация относится к классу задач машинного обучения (Learning «глубокое обучение»). В данном исследовании использовали аналитическую платформу Loginom 7.2.2 Российской компании Loginom Company (РФ) [11].

Массив данных импортируется из таблицы в формате Excel, который выполняется в первом узле 1 программы (рисунок 2).

Входные и выходные поля, задаются методом нормализации данных в обучающей выборке. Целью нормализации значений полей является преобразование данных к безразмерному виду в диапазоне [0...1].

Введенные данные подвергаются процедуре предобработки: узел 2 — «заполнение пропусков» и узел 3 — редактирование выбросов. При заполнении пропусков использовали методы одномерного анализа — «Заменять случайными значениями». Редактирование выбросов позволяет выделить грубые ошибки и заменить их на смоделированное случайное значение.

В основе кластеризации алгоритмом k-means лежит принцип оптимального в определенном смысле разбиения множества данных на k кластеров. Алгоритм группирует данные в кластеры таким образом, чтобы целевая функция алгоритма разбиения достигала экстремума. В качестве критерия сходимости, использовали минимум суммы квадратов ошибок между центроидами кластера и всеми вошедшими в него записями:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{y \in C_i} (p - m_i)^2$$

где $p \in C_i$ — произвольная точка данных, принадлежащая кластеру C_i ; m_i — центроид данного кластера.

Выбор числа k может базироваться на теоретических соображениях или имитационных расчетов. Центр кластера — средние значения переменных объектов, входящих в кластер.

Перед расчетом по приведенной программе (рисунок 2) в узле 4 задается и реализуется алгоритм настройки «Переобучить узел» после чего дается команда на выполнение расчета. Программа позволяет использование широкого спектра аналитических процедур. В данном исследовании использовали в отдельном модуле Data Mining опцию «кластеризация».

Результаты и обсуждения. Для кластеризации по алгоритму k-means важным моментом является задание числа кластеров. Наиболее равномерное распределение значений получили для 3 кластеров. Количество точек и вероятности приведены в таблице 2.

Центры кластеров приведены в таблице 3. Кластер 0 (вероятность 24%) для 1 посадки средняя декада равна 6 (2 декада июня). В это время происходит цветение и завязывание клубней. Этот кластер характеризуется средним уровнем температуры — 18,6 °С, и наибольшим количеством осадков — 49,5 мм. Для этого кластера получена максимальная урожайность — 578,5 г/куст. С учетом этого его можно оценить кластер, как **благоприятный**.

Таблица 2 — Распределение точек по кластерам для первой и второй посадки

№ п/п	Кластер	Посадка 1		Посадка 2	
		Количество точек	Доля, %	Количество точек	Доля, %
1	0	13	24	15	31
2	1	21	39	12	25
3	2	20	37	21	44
4	Всего:	54	100	48	100

Таблица 3 — Средние значения факторов для центров кластеров при первой и второй посадке

Посадка	Кластер	Декада	Температура, °С	Осадки, мм	Урожайность, г/куст
1	0	6	18,6	49,5	578,5
	1	7	19,6	28,6	475,0
	2	2	13,8	21,5	502,3
2	0	7	11,8	20,5	468
	1	2	19,7	48,0	464
	2	4	18,8	7,0	471

Кластер 1 (вероятность 39%) первой посадки средняя декада — 7 (3 декада июня) соответствует фазе цветения, происходит формирование и рост клубней. Характеризуется повышенной температурой — 19,6 °С, средним количеством и неравномерным распределении осадков — 28,6 мм, получена наименьшая средняя урожайность — 475,0 г/куст. По результатам анализа 1 кластер является **неблагоприятным**. Недостаток влаги можно компенсировать поливом (управляемый фактор) [12].

Кластер 2 (вероятность 37%) характеризуется низкой температурой — 13,8 °С. Растениям недостаточно тепла. Декада 2 (1 декада мая) — это период прорастания и появления всходов, но из-за низкой температуры эта фаза развития затягивается. Возможная компенсация — пленочное укрытие [13]. Для этой фазы достаточное количество осадков — 21,5 мм. Кластер 2 относим к **средним** по продуктивности — 502,3 г/куст.

Для второй посадки кластер 0 (31%) — средняя декада — 7 (2-я декада сентября) соответствует фазе накопления массы, но из-за низкой температуры 11,8 °С потенциал растения не реализуется в полной степени при среднем уровне осадков — 20,5 мм и как следствие, не высокая урожайность — 468 г/куст.

Кластер 1 (25%) декада 2 (3 декада июля,) характеризуется высокой температурой 19,7 °С и большим количеством осадков 48,0 мм (стандартное отклонение — 16,4 мм, сумма — 575,5 мм) наблюдается излишняя влага. В этот период происходит развитие

всходов и закладка столонов. В итоге при благоприятных условиях закладывается излишнее количество столонов.

Кластер 2 (44%) 4 декада (2 декада августа) — это фаза цветения и накопление массы клубней, но этот кластер характеризуется не большим количеством осадков — 7,0 мм (стандартное отклонение — 7,3 мм, сумма — 146,8 мм), поэтому при достаточно высокой температуре 18,8 °С существенно замедляется развитие растений. В итоге, не высокий уровень урожайности — 471 г/куст. Кластер 2 — наиболее вероятен — 44%. При достаточной температуре недостаток влаги возможно компенсировать поливом. В итоге к **благоприятным** можно отнести **2 кластер, кластер 0 — не благоприятный** и **кластер 1** (наименьшая вероятность — 25%) отнесем к среднему классу.

Программный комплекс позволяет проанализировать функции плотности для всех данных и каждого кластера, проанализировать статистические характеристики и оценить значимость каждого фактора оценивается как разница — 1 минус вероятность нулевой гипотезы. Значимость выражается в процентах. Для непрерывных полей используется t-критерий Стьюдента, а для дискретных полей — критерий хи-квадрат. Общая значимость поля определяется по F-критерию Фишера. Значимость для изучаемых факторов при 1 и 2 посадки показаны на рисунок 3

Значимость интегральных значений факторов имеют достаточно высокий уровень. Для сроков (декады) значимость равна 80 % и вариация для кластеров 64–71 % при 1 посадке и 79 %, вариация 49 — 77 % при 2 посадке. Значимость температуры: 1 посадка интегральное значение 84 %, вариация по кластерам 62 — 74 %; 2 посадка интегральное значение значимости 90,4 %, вариация 59–82 %.

Значимость фактора урожайности итоговое 69 — 66 %, при этом вариация для кластеров 46–81 % 1 посадка и 41–54 % — 2 посадка. Из-за большой вариации осадков (рисунок 4) по сравнению с температурой итоговые значения важности фактора 37 — 59 %, для кластеров 26–40 % (1 посадка) и 40–72 (2 посадка).

а)

#	Метка кластера	Поддержка	Декада	Температура ℤ	Осадки, мм	Урожайность, г/к...
1	Итого	100%	80	84	37	69
2	Кластер 2	37%	65	62	28	47
3	Кластер 0	24%	71	75	40	81
4	Кластер 1	39%	64	62	26	46

б)

#	Метка кластера	Поддержка %	Декада	Температура	Осадки, мм	Урожайность, г
1	Итого	100%	79	90,4	59	66
2	Кластер 2	47%	49	59	40	41
3	Кластер 0	29%	77	73	45	51
4	Кластер 1	24%	60	82	72	54

Рисунок 3 — Значимость факторов для кластеров при 1 (а) и 2 (б) посадке

Заключение

1. При кластеризации климатических характеристик достаточно задавать количество кластеров равное 3. Вероятности появления кластеров: кластер 0 — 24 %, кластер 1 — 39 % и кластер 2 — 37 %; для 2 посадки соответственно: 0 — 31 %, 1 — 25 % и 2 — 44 %.

2. Кластерный анализ с использованием аналитической платформы Loginom 7.2.2 позволяет сгруппировать метеорологические данные в кластеры, оценить вероятность кластеров, статистические характеристики кластеров и сопоставить с возможной урожайностью, что позволяет дифференцировать условия на благоприятные, не благоприятные и средние.

3. Статистические характеристики кластеров позволяют сопоставить с фазами развития и оценить достаточность природно-климатических характеристик и при необходимости прогнозировать дополнительные агротехнические приемы для компенсации не благоприятных отклонений: при недостатке влаги необходимость полива в определенные декады и применения пленочных покрытий при опасности низких температур.

4. Вероятности появления кластеров возможно использовать в качестве характеристики стратегий природы при обосновании сортов с использованием теории игр с природой.

Список литературы

1. Лучшие практики применения технологий по адаптации отрасли растениеводства к изменениям климата: монография / И.Н. Гаспарян и др. — М.: МЭСХ, 2024. — 196 с.
2. Хромов С.П. Метеорология и климатология: учебник - 7 изд./ С.П. Хромов, М.А. Петросянц. — М.: Изд-во МГУ: Наука, 2006, 582 с.
3. Дреймер Н., Г. Смит Прикладной регрессионный анализ, издание 2, перевод с английского Ю.П. Адлер, В.Г. Горский. — М.: Финансы и статистика, 1986 г.,— 369 с.
4. Features of the choice of potato (*Solanum tuberosum*) varieties when growing two harvests in the temperate zone of Russia / I. N. Gasparyana *, A. G. Levshina,b , O. N. Ivashovab , N. F. Deniskinab and Sh. V. Gasparyanb.// Brazilian Journal of Biology, 2024, vol. 84, e27827
5. Мандель И.Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988 г. 176 с.
6. Численный метод кластеризации климатических данных Ю. В. Волков, А. В. Кавешников// Вычислительные технологии, 2022, том 28, № 6 с. 46–56. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.005
7. Методика применения кластерного анализа для типологии агроландшафтов республики Беларусь по агроклиматическому потенциалу/ А. А. Сазонов, Н. В. Клебанович, А. Н. Червань, А. А. Карпиченко, Н. В. Ковальчик, И. А. Ефимова, А. С. Семенюк, А. Л. Киндеев, Е. А. Кухлевский, А. Н. Есипович Электронная библиотека, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь.2024, <https://elib.bsu.by/handle/123456789/324944>
8. Хамед М. М., Нашван М. С. и Шахид С. Климатическое зонирование Египта на основе набора данных с высоким разрешением с использованием метода кластеризации изображений. *Prog Earth Planet Sci* 9, 35 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00494-3>
9. Раймундо Р., Ассенг С., Робертсон Р., Петсакос А., Хугенбум Г., Кирос Р., Аро Г., Вольф Дж. 2018. Влияние изменения климата на мировое производство картофеля. *Европейский журнал агрономии*. ISSN: 1161-0301. т. 100, с. 87–98.
10. Кластеризация динамических объектов наблюдения / Бобров К.А.1, Чекал Е.Г.1, Чичев А. А.1: // Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ.// Электрон. журн. 2019, № 1, с. 7–19
11. Поллак, Г.А. Аналитические информационные системы поддержки принятия решений на платформе Loginom Community: учебное пособие / Г.А. Поллак, И.А. Прохорова. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. — 229 с.
12. Butuzov A. E., Gasparyan I. N., Dyikanova M. E., Ivashova, O. N. The influence of covering on the efficiency of early potato production in the Moscow region / // International technical and economic journal. — 2018. — No. 3. — P. 15–20. — EDN XVLVCH
13. Bairambekov Sh. B., Gar'yanova E. D., Gulyaeva G. V. Use of temporary shelters when growing early potatoes in the Astrakhan region // Potato growing. — 2017. — P. 175–177. — EDN XVLVCH

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В КРУГОВОРОТЕ И БАЛАНСЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОВРЕМЕННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

С. М. Лукин

*Всероссийский научно-исследовательский институт органических
удобрений и торфа - филиал ФГБНУ "Верхневолжский федеральный
аграрный научный центр", г.Владимир, E-mail: vnion22@yandex.ru*

Аннотация. В статье показана роль органических удобрений в круговороте и балансе питательных веществ в современном земледелии; эффективность органических удобрений; состояние и перспективы научных исследований в области использования органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии.

Ключевые слова. Органические удобрения; навоз; торф; сидераты; система применения удобрений в севообороте; круговорот и баланс питательных веществ; нормативы эффективности органических удобрений в севооборотах; длительные стационарные полевые опыты с удобрениями

THE ROLE OF ORGANIC FERTILIZERS IN THE NUTRIENT CYCLE AND BALANCE IN MODERN AGRICULTURE

S. M. Lukin

*All-Russian Scientific Research Institute of Organic Fertilizers and Peat -
Branch of the Federal Budget Scientific Institution "Verkhnevolzsky Federal
Agrarian Scientific Center", Vladimir, vnion22@yandex.ru*

Annotation: The article shows the role of organic fertilizers in the circulation and balance of nutrients in modern agriculture, the effectiveness of organic fertilizers in different soil and climatic zones of Russia, the state and prospects of scientific research in the field of the use of organic fertilizers and biological resources in modern agriculture.

Keywords: Organic fertilizers, manure; peat; green manure; fertilizer system in crop rotation; nutrient cycle and balance; norms for the effectiveness of organic fertilizers in crop rotations; long-term field experiments with fertilizers

В своих работах Д. Н. Прянишников всегда придавал большое значение вопросам использования органических удобрений. Определяя главную задачу агрохимии, как изучение круговорота веществ и выявление мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве почвой и растениями, которые могут повышать урожай или изменять его состав, он писал: «Было бы грубой ошибкой считать, что с ростом производства и применения минеральных удобрений роль навоза, как одного из главнейших удобрений, в какой-то степени снижается. Наоборот, при интенсивной химизации значение навоза еще более возрастает применение навозного удобрения представляет средство обратного вовлечения в земледелие питательных веществ, содержащихся в минеральных удобрениях и вынесенных из почвы растениями. При применении навоза происходит прогрессивное увеличение количества обращающихся в земледелии питательных веществ, необходимых растениям. Согласованное использование всех трех источников этих веществ — минеральных удобрений, бобовых растений и навоза — для увеличения их круговорота, позволяет наилучшим образом обеспечить неуклонный рост урожаев и прогрессивное повышение плодородия почв» [1, с. 251].

Недостаточное использование имеющихся ресурсов навоза Д. Н. Прянишников считал главной причиной крайне неблагоприятного баланса прихода и расхода питательных веществ в земледелии СССР. По его расчетам в 1940 году за счет применения органических удобрений (125 млн т) возмещалось 14,8 % азота, 16,1 % фосфора, 16,1 % калия от выноса этих элементов с урожаем сельскохозяйственных культур. Доля навоза в общем поступлении питательных веществ с удобрениями составила: азота — 82%, фосфора — 49 %, калия — 77%. При использовании всех ресурсов к 1957 году можно было довести использование навоза в стране до 700 млн тонн, при этом с навозом поступило бы 3,5 млн тонн азота, 1,75 млн тонн фосфора, 4,2 млн тонн калия [1].

В России за последние 35 лет применение органических удобрений в сельскохозяйственных организациях снизилось в 7 раз. В последние годы оно стабилизировалось на уровне 70 — 74 млн т или 1,6 т на 1 га посева (1,2 т/га пашни) [2]. Соответственно, поступление питательных веществ на 1 га посева сельскохозяйственных культур уменьшилось до 20 кг/га. Особенно резкое снижение объемов применения органических удобрений наблюдается в областях и республиках Уральского и Дальневосточного федеральных округов.

Сократилась площадь, удобренная органическими удобрениями. Если в 1986–1990 гг. они применялись на 9 % посевной площади, то к 2000–2005 гг. — на 2,2 — 3,4 %. В последние годы доля посевов, удобренных органическими удобрениями, возросла до 9,3%, однако средняя доза внесения органических удобрений на удобренную площадь снизилась с 47 до 17,8 т/га.

В настоящее время с органическими удобрениями в сельскохозяйственных организациях поступает около 950 тыс. т д.в. NPK или 21 % от общего количества, поступающего с минеральными и органическими удобрениями. В 2024 г. доля органических удобрений в общем поступлении NPK с удобрениями составила: под зерновые культуры — 16 %, подсолнечник — 20 %, овощные культуры — 11 %, картофель — 6 %, кормовые культуры (в основном под кукурузу на силос), — 56 %. Наряду с низким уровнем применения минеральных удобрений, это приводит к тому, что в большинстве регионов Российской Федерации наблюдается отрицательный баланс питательных веществ в земледелии (таблица 1).

Основной причиной этого является сокращение поголовья животных в сельскохозяйственных организациях и в личных подсобных хозяйствах населения, что привело к снижению выхода навоза и помета; значительное увеличение затрат на использование органических удобрений; неудовлетворительное состояние материально-технической базы по их производству и применению. Если в 1990 г. соотношение стоимости 1 ц зерна и затрат на использование 1 т навоза составляло 4,7 : 1, то в настоящее время — 1,5–2,0 : 1. При этом существующий парк машин по внесению органических удобрений позволяет качественно внести только 30–35% объема производства навоза и компостов.

Таблица 1 — Использование органических удобрений в сельскохозяйственных организациях России

Показатель	1986 – 1990 гг.	2010 г.	2020 г.	2023 г.	2024 г.
Внесено органических удобрений, всего млн тонн	481,6	53,1	70,5	71,2	74,2
на 1 га посева, тонн	4,0	1,1	1,6	1,6	1,6
на 1 га удобренной площади, тонн	47,3*	14,7	17,0	17,2	17,8
Поступление питательных веществ с органическими удобрениями, всего, тыс. тонн д.в.	5716,1	693,0	902,4	911,4	950,0
на 1 га посева, кг	48	14	20	20	20
на 1 га удобренной площади, кг	563	188	218	215	222
Доля питательных веществ органических удобрений в общем поступлении с удобрениями, %	30	27	23	21	21
Площадь, удобренная органическими удобрениями, в % к посевной площади	7,4*	7,5	9,4	9,3	9,0

* 1990 г. **использовано торфа в 1986–1990 гг. 91,8 млн тонн в год

Анализ круговорота органического вещества и элементов минерального питания в системе «поле–ферма–поле» показывает, что при сложившемся в последние годы уровне применения органических удобрений наблюдаются значительные потери биогенных элементов. Из поступившего на фермы с кормами и подстилкой органического вещества возвращается в почву в настоящее время только 34 %, элементов минерального питания — 42 %, при возможной реутилизации, соответственно, 48 и 75 %.

Таблица 2 — Внесение органических удобрений в расчете на 1 условную голову скота в сельскохозяйственных организациях Российской Федерации, тонн

Годы	Внесение органических удобрений, млн тонн	Поголовье скота и птицы, млн условных голов	Внесено органических удобрений в расчете на 1 условную голову скота, тонн	
			Всего	В том числе торф
1990	389,5	56,0	7,0	1,3
2020	70,5	19,8	3,5	0

Потери питательных веществ в результате неудовлетворительного хранения и неэффективного использования органических удобрений сопоставимы с объемами применения минеральных удобрений. Расчеты показывают, что до 40 % выхода навоза и помета не используется, остается лежать в местах хранения, загрязняя окружающую среду.

Показателем эффективности использования ресурсов органических удобрений в сельскохозяйственных организациях является внесение их в расчете на 1 условную голову скота. Если в 1990 году в расчете на 1 условную голову вносилось 7,0 тонн (в том числе 1,3 тонн торфа для приготовления компостов), то в 2020 году — 3,5 тонны, несмотря на рост продуктивности животных и повсеместный перевод крупного рогатого скота на круглогодое стойловое содержание [3], (таблица 2).

В Нечерноземной зоне России большие потери органических удобрений, в результате неудовлетворительного их накопления и хранения, отмечаются в хозяйствах Псковской, Тульской, Тверской, Брянской областей, Республик Мордовия и Марий Эл, где в расчете на 1 условную голову скота и птицы используется менее 2 тонн навоза и компостов.

К основным проблемам, связанным с использованием навоза и помета в сельском хозяйстве России, относятся:

1. Неудовлетворительное состояние материально-технической базы по производству и применению органических удобрений, значительный разрыв между выходом навоза и помета и их внесением в сельскохозяйственных организациях.

2. Недостаток земельных угодий и высокая плотность поголовья животных в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий на животноводческих комплексах и птицефабриках.

3. Высокие дозы внесения навоза, помета на животноводческих комплексах, несоблюдение доз, сроков и способов внесения органических удобрений.

4. Загрязнение почв, водоемов, атмосферы, выбросы парниковых газов при содержании животных, хранении и внесении навоза и помета.

5. Несовершенство нормативной и правовой базы использования органических удобрений.

По своему генезису, составу и свойствам органические удобрения можно разделить на несколько групп: органические удобрения животноводческих предприятий (животного происхождения), органические удобрения растительного происхождения (сидераты, солома и другая побочная продукция); органогенные ископаемые (торф, торфо-туф и сапропели); органогенные отходы промышленности и коммунального хозяйства (осадки сточных вод, промышленные и бытовые отходы); многокомпонентные органические удобрения (компосты).

Если исходить из этих определений, то потенциальные ресурсы для производства органических удобрений в РФ огромны. Суммарные запасы органического вещества, включая балансовые запасы торфа и сапропеля, составляют 10,2 млрд. тонн, NPK — 351 млн тонн. Однако, 98 % органического вещества и 97 % элементов минерального питания сосредоточено в запасах торфа, сапропеля или осадков сточных вод, использование которых связано с высокими затратами или большими экологическими рисками. Поэтому, безусловно, как и во времена Д. Н. Прянишникова, основным ресурсом органических удобрений в настоящее время является навоз и помет сельскохозяйственных животных и птицы, и возобновляемые ресурсы агроценозов.

Во ВНИИОУ для разработки нормативных показателей эффективности органических удобрений использованы материалы опытов, проведенных учреждениями Географической сети опытов с удобрениями за последние 50 лет. Источниками информации служили отчеты по полевым опытам, полученные ВНИИОУ

при разработке «Нормативов прибавок урожая сельскохозяйственных культур от применения органических удобрений на 1991–1995 гг.» [4], сборники публикаций Географической сети опытов с удобрениями, а также научные статьи в журналах за период с 1991 по 2009 год. Всего в обобщение вошли данные 1610 ротаций севооборотов, включающие 8,3 тысячи наблюдений (вариантов опытов). В связи со значительным варьированием содержания питательных веществ в бесподстильном навозе и помете, дозы их внесения и окупаемость 1 т прибавкой урожая были пересчитаны на стандартное содержание в них азота: полужидкий навоз — 0,35 %, жидкий навоз — 0,15 %, навозные стоки — 0,1 %, полужидкий помет — 0,9 %, жидкий помет — 0,3 %.

Проведенные исследования показали, что в условиях Российской Федерации 1 т подстильного навоза в зависимости от почвенно-климатических условий, доз внесения и сочетания с минеральными удобрениями дает 0,3 до 1,5 ц з. е. Наибольшую прибавку урожая обеспечивает использование подстильного навоза на легких дерново-подзолистых почвах — до 1,5 ц з. е., в то время как на южных черноземных и каштановых почвах максимальная окупаемость навоза урожаем не превышает 0,47 ц. з. е.

Эффективность органических удобрений снижается в направлении с севера и северо-запада на юг и юго-восток Российской Федерации, что обусловлено увеличением содержания в почвах гумуса и питательных веществ и нарастанием дефицита влаги [5,6], (таблица 3,4).

В связи с ограниченным количеством экспериментальных данных по эффективности бесподстильного навоза и помета, компостов, осадков сточных вод, соломы, зеленых удобрений для расчета оплаты 1 т урожаем могут быть использованы коэффициенты сравнительной эффективности различных видов и форм органических удобрений (таблица 5).

В среднем по Российской Федерации нормативная прибавка урожая, в зависимости от вида применяемых органических удобрений колеблется от 0,1 до 2,1 ц. з. е. на 1 т, при этом в зернопаровых севооборотах она в 1,8–2,2 раза ниже, чем в зернопропашных и пропашных.

Таблица 3 — Эффективность подстильного навоза на различных типах почв с учетом последствий в севообороте (по данным длительных опытов с органическими удобрениями)

Типы почв	Среднегодовая доза внесения навоза, т/га	Фон - без минеральных удобрений			
		Количество опытов (ротаций)	Среднегодовой урожай без навоза ц з.е./га	Прибавка от навоза, ц з.е./га	Оплата 1 т навоза, кг з.е.
Дерново-подзолистые супесчаные и песчаные	<6,0 6,0-10,0 > 10,0	122	25,8	7,3 8,3 9,6	153 91 59
Дерново-подзолистые суглинистые	<6,0 6,0-10,0 > 10,0	260	24,2	6,7 7,6 12,5	138 89 79
Серые лесные	<6,0 6,0-10,0 > 10,0	57	25,4	2,9 4,8 7,7	85 61 56
Черноземы выщелоченные, обыкновенные, типичные, карбонатные	<6,0 6,0-10,0 > 10,0	401	29,7	3,6 5,7 8,2	81 70 46

Для оптимизации режима органического вещества в пахотных почвах Российской Федерации необходимо вносить в среднем 6 т навоза в расчете на 1 га или 480 млн тонн в год. В настоящее время выход навоза и помета по всех категориях хозяйств Российской Федерации составляет 294 млн тонн в физической массе или 201 млн тонн в пересчете на подстильный навоз. При этом, более 90 млн тонн навоза и помета производится в личных подсобных хозяйствах населения и в крестьянских (фермерских) хозяйствах. Общее содержание азота, фосфора и калия в навозе и помете составляет 2,6 млн тонн, в том числе в сельскохозяйственных организациях — 1,4 млн тонн.

Таблица 4 — Нормативные показатели эффективности подстильного навоза по природно-сельскохозяйственным зонам России

Природно-сельскохозяйственные зоны	Среднегодовая доза внесения, т/га	Число наблюдений	Урожайность в контроле, ц/га з.е.	Прибавка урожая от навоза, ц/га з.е.	Оплата 1 т навоза, кг з.е.
на фоне без минеральных удобрений					
Южнотаежно - лесная	≤5,0	254	21,8	5,0	123
	5,1-10,0			6,0	73
	10,1-15,0			8,1	65
	>15,0			12,8	64
Лесостепная	≤5,0	123	26,9	3,0	86
	5,1-10,0			4,6	62
	10,1-15,0			6,7	54
	>15,0			8,5	36
Степная	≤5,0	93	30,0	2,6	66
	5,1-10,0			4,3	56
	10,1-15,0			8,7	67
	>15,0			8,5	43
на фоне минеральных удобрений					
Южнотаежно - лесная	≤5,0	327	31,1	5,8	125
	5,1-10,0			5,2	57
	10,1-15,0			5,2	40
	>15,0			6,3	32
Лесостепная	≤5,0	88	34,4	2,8	63
	5,1-10,0			3,6	47
	10,1-15,0			4,6	34
	>15,0			9,4	56
Степная	≤5,0	60	35,4	2,0	53
	5,1-10,0			4,0	55
	10,1-15,0			5,3	43
	>15,0			4,1	19

Таблица 5 — Коэффициенты сравнительной эффективности различных видов и форм органических удобрений по оплате 1 т прибавкой урожая в севообороте

Вид и форма удобрений	Поправочный коэффициент
Навоз подстильный	1,0
Бесподстильный полужидкий навоз	0,5
Бесподстильный жидкий навоз	0,3
Стоки навозные	0,1
Подстильный птичий помет	2,0
Бесподстильный полужидкий птичий помет	1,4
Бесподстильный жидкий птичий помет	0,6
Торфонавозные компосты	0,7
Торфопометные компосты	1,4
Торф	0,4
Сапропель	0,3
Осадки сточных вод	0,6
Солома на фоне NPK	2,0
Сидераты	0,9

С учетом наметившейся тенденции роста поголовья скота к 2030 г. выход навоза в сельскохозяйственных организациях в физической массе может достигнуть 314 млн т, а в пересчете на подстильный навоз — 169 млн т. Использование этих ресурсов позволит увеличить поступление питательных веществ с навозом и пометом в сельскохозяйственных организациях до 2,2 млн тонн, а с учетом имеющихся ресурсов торфа, побочной продукции растениеводства, сидератов — до 5,5 млн тонн, (таблица 6).

Таблица 6 — Ресурсы органических удобрений в сельскохозяйственных организациях России

Показатель	2030 г.
Выход навоза и компостов, физическая масса (млн тонн)	314
в пересчете на подстилочный навоз (млн тонн)	169
Использование на удобрение торфа (млн тонн)	10,0
Использование соломы на удобрение: (млн га)	32,0
(млн тонн)	112,0
Использование сидератов: (млн га)	2,0
(млн тонн)	40,0
Всего в пересчете на подстилочный навоз (млн тонн)	431
Дополнительно выращенная продукция, млн т з. е.	44,0
Стоимость дополнительной продукции, млрд. руб	616,0
Поступление в почву с органическими удобрениями:	
органического вещества, млн т	132,6
элементов минерального питания, млн т	5,5

В решении этих проблем важное значение принадлежит длительным стационарным опытам с удобрениями. Перспективными направлениями исследований в длительных опытах являются:

1. Изучение круговорота и баланса биогенных элементов в зависимости от уровня интенсификации земледелия и длительности сельскохозяйственного использования почв.

2. Исследование продукционного процесса сельскохозяйственных растений, разработка моделей продуктивности посевов с учетом сортовой специфики при использовании органических, минеральных удобрений, биоресурсов в условиях изменения климата.

3. Совершенствование дистанционных методов диагностики питания растений.

4. Проведение исследований по сравнительной оценке различных систем земледелия: органического, интенсивного, интегрированного.

5. Разработка моделей динамики содержания гумуса и биогенных элементов в почве при длительном применении органических удобрений и биоресурсов в условиях изменения климата.

6. Совершенствование нормативной базы по использованию органических удобрений: усовершенствование нормативов окупаемости органических удобрений прибавкой урожая в севооборотах; определение максимальных доз внесения различных видов органических удобрений, обеспечивающих предотвращение загрязнения окружающей среды биогенными веществами, в зависимости от почвенно-климатических условий, вида культур, типа севооборотов; совершенствование способов внесения органических удобрений.

7. Мониторинг эмиссии парниковых газов при сельскохозяйственном использовании почв, использовании различных видов минеральных и органических удобрений; разработка методологии и нормативной базы для инвентаризации парниковых газов; разработка технологий, направленных на сокращение эмиссий и депонирование углерода; разработка технологий адаптации земледелия к изменению климата.

Заключение

Органическим удобрениям принадлежит огромная роль в круговороте и балансе органического вещества и элементов минерального питания в земледелии. Имеющиеся ресурсы навоза и компостов, при их полном использовании, позволяют увеличить поступление питательных веществ с органическими удобрениями более, чем в 2 раза. Актуальной задачей является использование всех имеющихся ресурсов навоза, помета, торфа, растительных остатков, расширение посевов сидератов, а также разработка нормативов и регламентов экологически безопасного использования органических удобрений.

Список литературы

1. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. М.: Колос, 1965. 639 с.
2. https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy

3. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. / Под ред Митина С.Г., Иванова А.Л., М.: ООО "Издательство МБА", 2021. 400 с.
4. Нормативы прибавок урожая сельскохозяйственных культур от применения органических удобрений. Владимир: ВНИПТИОУ, 1990. 124 с.
5. Лукин С.М. Нормативные показатели эффективности органических удобрений в севооборотах по зонам страны. В сб.: 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Материалы Всероссийского совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова, 2016. С. 161–166.
6. Лукин С.М. Нормативные показатели эффективности органических удобрений по зонам Российской Федерации. В сб.: Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых ученых, 19 - 21 июля 2019 г. Белгород: ООО "Принт", 2019. С. 334 -341.

УДК. 631.41:631.446.3

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОМОРФИЗМА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Д. Ю. Махкамова, Л. А. Гафурова, О. Х. Эргашева

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека

e-mail: d.mahkamova@nuu.uz, la.gafurova@nuu.uz

тел: +998 90 900 24 97, +99897 767-81-82

Аннотация. В данной работе влияние глубины залегания и минерализованные грунтовых вод на агрохимические свойства засоленных почв покрова. Проведён анализ степени засоленности, выявлены основные типы солей, присутствующих в почве, а также их распределение по профилю. Исследованы изменения в содержании элементов питания, pH и другим важным агрохимическим показателям.

Ключевые слова: засоление почв, агрохимические свойства почвы, солевой состав, профильное распределение солей, pH, сероземы, сероземно-луговые, лугово-сероземные, луговые и болотно-луговые

INFLUENCE OF THE DEGREE OF HYDROMORPHISM ON AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SALINE SOILS

Abstract. This paper examines the effect of groundwater depth and mineralization on the agrochemical properties of saline soils. The degree of salinity was analyzed, the main types of salts present in the soil were identified, as well as their distribution along the profile. Changes in the content of nutrients, pH, and other important agrochemical parameters were studied.

Key words: soil salinization, agrochemical properties of soil, salt composition, profile distribution of salts, pH, sierozem, sierozem-meadow, meadow-sierozem, meadow and marsh-meadow

Засоление почв представляет собой одну из наиболее острых проблем современного земледелия, особенно в регионах с засушливым и полувасушливым климатом. Воздействие засоления на почвенные ресурсы проявляется в ухудшении их агрохимических свойств, снижении плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. В результате накопления легкорастворимых солей в верхних горизонтах почвы происходят изменения в химическом составе, кислотности или щелочности, водном режиме и биологической активности почвенного покрова [1, 4, 8, 11].

Особую актуальность приобретает изучение процессов засоления на участках с близким залеганием грунтовых вод — от автоморфных, полуавтоморфных, полугидроморфных к гидроморфных. Анализ агрохимических параметров таких почв позволяет выявить характерные особенности солевого состава, степень их влияния на доступность питательных веществ и формировать рекомендации по рациональному использованию и восстановлению плодородия [3, 6, 9, 12, 13].

Одной из глобальных проблем — является проблема засоленности почв, повышение их плодородия. Проблема борьбы с засолением актуальна для многих стран аридной зоны мира, в том числе, и для Узбекистана. За последние 30–50 лет количество засоленных земель постепенно увеличивалось, исследования последних лет о современном состоянии почв показали, что из изученных орошаемых почв — 2 млн 418,8 тыс. га земель — площади в различной степени засоленных орошаемых земель в Республике достигали к 2018 году 1 млн 743,6 тыс. га, что составляло 72,1 % от общей площади орошаемых земель [2, 5].

Проблема борьбы с засолением почв ныне приобрела общегосударственный характер и меры для ее решения осуществляются последовательно и неотлагательно. Засоление часто сопровождается формированием трудномелиорируемых гипсированных почв.

Засоление почв — это сложный процесс накопления в почвенном профиле водорастворимых солей, таких как хлориды, сульфаты, карбонаты и бикарбонаты натрия, кальция и магния. По данным различных исследователей, засоление оказывает значительное влияние на физико-химические и биологические свойства почвы, в том числе на её структуру, влагоудерживающую

способность, доступность питательных веществ и активность почвенной микробиоты [5, 10].

Согласно исследованиям Докучаева В. В. и его последователей, засоление часто развивается в условиях повышенного уровня грунтовых вод, интенсивного испарения и нерационального орошения, особенно в засушливых зонах. Эти процессы способствуют подъему солей из нижележащих горизонтов в верхний, что приводит к ухудшению условий для роста сельскохозяйственных культур [9].

Многие отечественные и зарубежные работы подчёркивают, что засоление нарушает агрохимическое равновесие почвы. В частности, происходит снижение доступности макро- и микроэлементов, изменение pH-среды, а также ухудшение поглощательной способности почв [13].

Кроме того, избыток натрия оказывает токсичное воздействие на растения и способствует разрушению почвенной структуры, что значительно снижает плодородие [5].

Актуальность изучения засоления почв обусловлена необходимостью разработки эффективных методов их рекультивации и рационального использования. В последние годы усиливается интерес к системам мониторинга засоленных почв и применению различных мелиоративных мероприятий, включая гипсование, биомелиорацию и оптимизацию режимов орошения [2].

Нужно отметить, что во всех приведенных выше работах указываются на главные особенности почв Голодностепской подгорной равнины — это их засоление легкорастворимыми солями и гипсоность. Повышенное содержание в почвах солей и гипса определяет в первую очередь неблагоприятные мелиоративные качества большинства почв объекта, что даёт основание отнести большую часть их к трудномелиорируемым.

Исследованная территория (в пределах Джиззакской области) входит в пределы полупустынной сероземной зоны с характерными для неё геоморфологией, климатом и растительным покровом. Расчлененность рельефа, литологические особенности подстилающих пород, сложность гидрогеологических условий и другие природные факторы обусловили формирование здесь помимо зонального типа сероземов, лугово-сероземных, сероземно-луговых, луговых и болотно-луговых почв и солончаков, значительно

различающихся по засолению, содержанию гипса, карбонатов и другим мелиоративным показателям. Грунтовые воды залегают устойчиво близко к поверхности и характеризуются слабой отточностью и пестрой минерализацией.

По глубине залегания гипсоносного горизонта почвы относятся к глубоко- и среднепрофильно гипсоносным, почвы долины почти без исключения все поверхностно-гипсоносные. Территория распространения луговых почв является весьма сложным объектом для мелиорации. Высокая гипсоносность в сочетании с высоким засолением резко ухудшает водно-физические свойства почв, увеличивает насыщенность поглощающего комплекса магнием и натрием, оказывает токсичное воздействие на растения.

Сероземы территории опорного землепользования пункта, с поверхности до глубины 100–150 см не засолены (разр.3), но в отдельных более глубоких горизонтах фиксируется слабое, местами среднее засоление. Почвы склонов в нижней шлейфовой части начиная с поверхности земли засолены в различной степени и гипсоносны, а почвы дна саев характеризуются довольно сильным засолением и высокой гипсоносностью разр. 29^а, 39, 99; (рисунок1, 2).

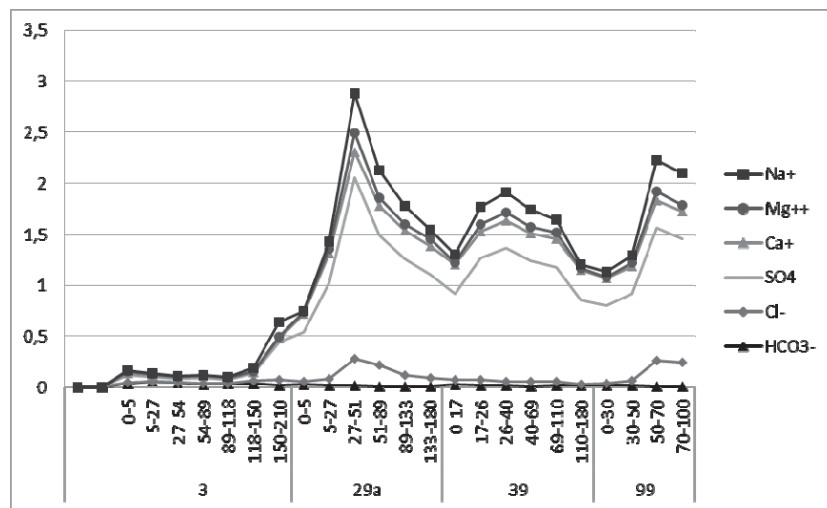


Таблица 1 — Средневзвешенное содержание и запасы легкорастворимых солей и гипса в верхнем метровом слое почвы

Название почвы	Глубина см.	Мощность слоя, см	Плотный остаток		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		CaSO ₄ x 2H ₂ O (гипс)	
			%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га
3 – Серозем типичный среднесуглинистый на лессе	0-5	5	0,165	1,14	0,007	0,05	0,076	0,52	0,717	4,94
	5-27	22	0,120	3,64	0,003	0,09	0,049	1,49	0,676	20,52
	27-54	27	0,095	3,54	0,003	0,11	0,037	1,38	0,616	22,95
	54-89	35	0,115	5,55	0,003	0,14	0,055	2,66	0,409	19,75
	89-100	11	0,085	1,29	0,003	0,05	0,035	0,53	0,308	4,68
	0-100	100	0,110	15,16	0,003	0,44	0,048	6,58	0,528	72,84
29 ^а – Сероземно-луговая почва на пролювиальных отложениях	0-5	5	0,890	6,14	0,024	0,17	0,479	3,31	1,128	7,78
	5-27	22	1,700	51,6	0,056	1,70	0,940	28,54	41,315	1254,32
	27-51	24	3,405	112,77	0,262	8,68	1,771	58,66	35,370	1171,45
	51-89	38	2,570	134,77	0,203	10,64	1,275	66,86	23,271	1220,33
	89-100	11	2,130	32,33	0,105	1,59	1,135	17,25	33,565	509,51
	0-100	100	2,446	337,61	0,165	22,78	1,265	174,60	30,169	4163,39
99 – Сероземно-луговая на пролювиальных отложениях	0-30	30	1,310	54,23	0,024	0,99	0,757	31,34	26,040	1078,06
	30-50	20	1,530	42,22	0,045	1,24	0,854	23,57	28,193	778,13
	50-70	20	2,605	71,90	0,245	0,76	1,300	35,88	29,936	826,23
	70-100	30	2,445	101,22	0,234	9,69	1,203	49,80	20,299	840,38
	0-100	100	1,953	269,57	0,135	18,68	1,019	140,59	25,53	3522,80
	0-17	17	1,525	35,78	0,038	0,89	0,849	19,92	13,738	322,29
39 – Луговая почва на пролювиальных отложениях	17-26	9	2,100	26,08	0,049	0,61	1,191	14,79	29,464	365,94
	26-40	14	2,200	42,50	0,042	0,81	1,306	25,23	17,428	336,71
	40-69	29	2,025	81,04	0,042	1,68	1,181	47,26	37,626	1505,79
	69-100	31	2,000	85,56	0,038	1,63	1,119	47,87	28,501	1219,27
	0-100	100	1,964	270,96	0,041	5,62	1,124	155,07	27,174	3750,00

Таблица 2 — Качественный состав солей в почвах

№ разреза	Слой, см.	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	NaCl	Сумма солей			% токсичнсолей от суммы
								всего	токсичность	нетоксичность	
3	100	0,054	0,002	0,050	0,04	0,010	-	0,119	0,063	0,056	-
29 ^а	100	0,029	0,903	0,176	0,221	0,720	-	2,050	1,118	0,932	54,54
99	100	0,023	0,905	-	0,169	0,563	0,016	1,676	0,748	0,928	44,63
39	100	0,029	0,900	0,28	0,055	0,451	-	1,663	0,734	0,929	44,14

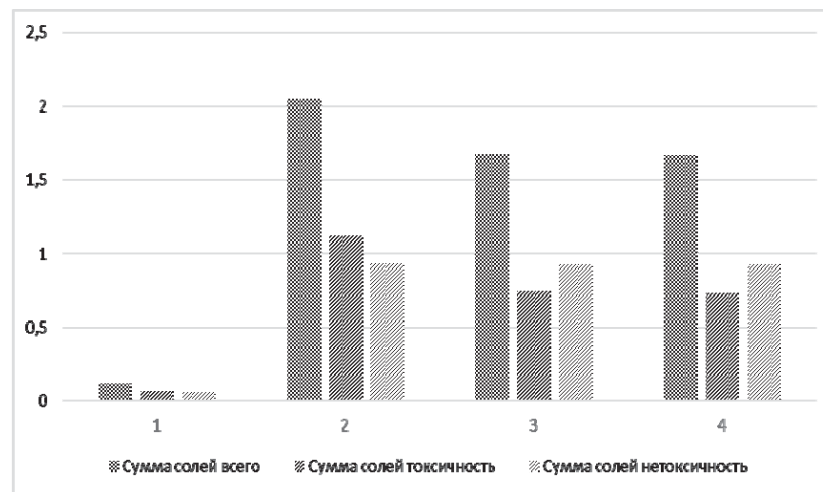


Рисунок 3 — Сумма токсичных солей в почвах

В процессе развития почвы формируется одно из главных её свойств — плодородие. Обмен веществ между почвой и содержащимися в ней в разных количествах микроорганизмами способствует накоплению в верхних слоях питательных элементов — азота, зольных элементов (фосфора, калия, серы и др.). Накопленные вещества содержатся в верхних горизонтах, где сосредоточены растительные остатки и где интенсивно протекают процессы распада органических веществ и формирование плодородия почв. Своеобразные региональные особенности исследуемой территории отражаются на агрохимических свойствах исследуемых почв.

Сероземная почва, расположенная на высокой водораздельной части (плакоре) Ломакинского плато (р. 3) легкого и среднесуглинистого состава. Содержание физической глины ($<0,01$) 32–36% в верхнем метровом слое, во втором метровом слое — 21–27%. В естественном состоянии почва является плодородной, чему способствовало развитие злаково-разнотравной растительности на покровных лессовых почвах. В верхнем 0–30 см слое накопилось значительное количество гумуса 0,8–1,2%. Глубже содержание гумуса постепенно убывает до 0,2–0,3 %. На части водораздельного плато, использованного в богарном земледелии, содержание гумуса в почве ниже уже в поверхностных слоях. Следует отметить, что по мере увеличения степени засоления и количества токсичных солей количество гумуса уменьшается (рисунок 4). Содержание гумуса в почве значительно ниже, чем в выше описанных (от 1,1 в гумусовом горизонте до 0,35% и менее на глубине 1 м).

Содержание общего азота, которое зависит от содержания гумуса также повышенное и в гумусовом горизонте достигает местами 0,064–0,269% снижаясь в верхнем метровом слое до 0,1% и менее. На пологом склоне плакора, где расположены лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы, которые характеризуется разрезами 29 и 99 верхний лессовый покровный слой в разной степени смыт эрозионным врезом. Механический состав почв от супесчаного до легкосуглинистого (частицы $<0,01$ только в верхнем гумусовом горизонте составляя от 9–21%, глубже их содержание меньше). Содержание гумуса в

почвах на пологом склоне в верхних горизонтах также остается относительно повышенным — 0,034–0,344%, постепенно снижаясь в средних и нижних по профилю частях. Луговая почва, занимающая дно лога (р. 39) характеризуется низким содержанием частиц $<0,01$ (5,3–12,0%). В основном, механический состав почвы супесчаный.

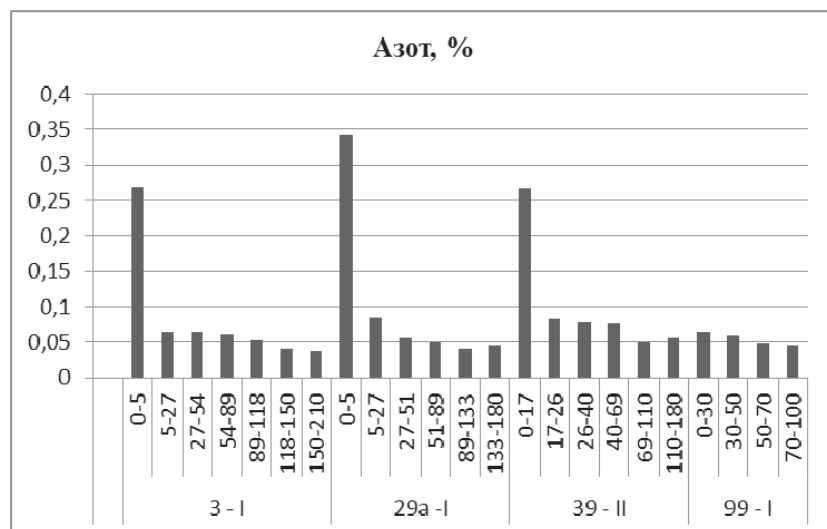
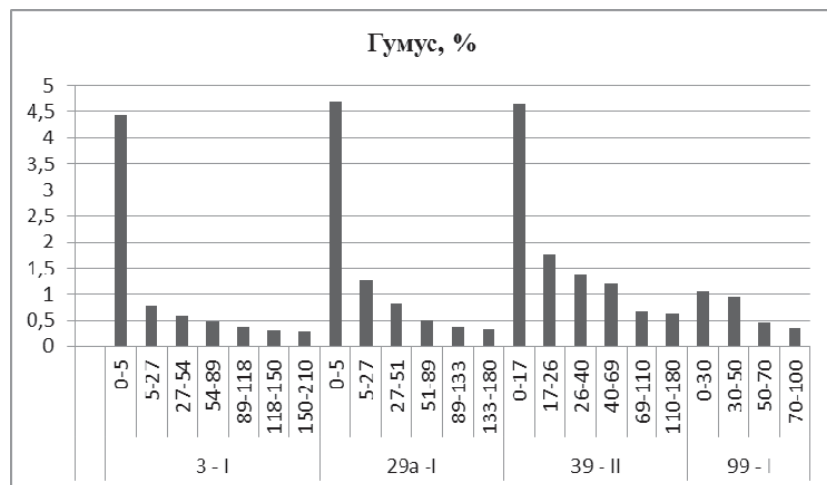
Сильная увлажненность почвы, близость минерализованных грунтовых вод (раньше здесь стояла вода) сильная засоленность и гипсоносность не способствовали развитию почвенных микроорганизмов и растительности. С понижением уровня грунтовых вод, благодаря проведению осушительных мелиораций (проведение коллектора) почвы лога подвергались осушению и использовались как пастбище. Большая часть вновь развивающейся растительности вытаптывалась и уничтожалась скотом.

Следовательно, данные почвы в целом несколько других почв богаты гумусом, но относительно бедны азотом. Причиной этого по — видимому можно считать длительное пребывание почв низин в условиях избыточного увлажнения, засоленности и гипсоносности, не способствующих жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий и развитию растительного покрова.

Что касается содержания в рассматриваемых почвах подвижных форм фосфора и обменного калия, то в сероземной почве до 40,5 мг/кг P_2O_5 в дерновом горизонте, т.е. на уровне средней обеспеченности. Глубже по всему профилю оно в пределах 5–10 мг/кг, что свидетельствует об очень низкой обеспеченности почв подвижными формами фосфора, что связано слабо выщелоченной рН, карбонатностью почв (рисунок 4).

В лугово-сероземной и сероземно-луговой почвах содержание и распределение по профилю подвижных форм фосфора и обменного калия аналогично выше описанной сероземной почвы и т.е. «низкое» и «очень низкое» за исключением поверхностного 0–30 см слоя (р. 99), где содержание подвижного калия на уровне «средней» обеспеченности.

В луговом солончаке лога (р. 39) подвижного фосфора мало, а содержание подвижного калия в верхней по профилю части почвы за исключением 0–17 см достаточно высокое на уровне «средней» обеспеченности (200–240 мг/кг).



Из выше сказанного следует, что полученные результаты показывают, что агрохимические свойства различаются в типичном сероземе, лугово-сероземной, сероземно-луговых, луговых почвах и солончаках региона. Характерно малое содержание гумуса и элементов питания, их неравномерное распределение по профилю исследованных почв.

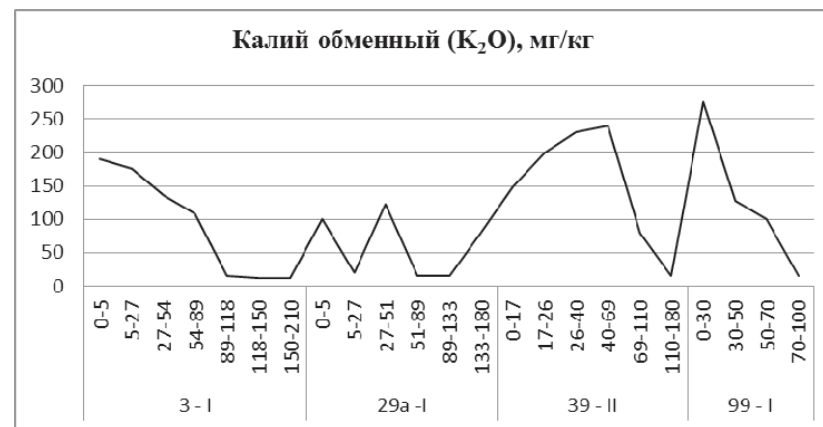


Рисунок 4 — Содержание гумуса, азота, фосфора и калия в почвах опорного пункта

Неблагоприятные почвенно-климатические особенности региона, особенно в увязке с изменением климата, способствуют накоплению солей в почвах, местами с поверхности. В связи с чем, значения агрохимических показателей у почв в исследуемой территории меньше, чем в аналогичных полугидроморфных и гидроморфных почвах других регионов республики, хотя гумусовый профиль их также несколько растянут.

Засоление и гипсированность отрицательно влияют на свойства почв, что ведет к понижению плодородия. С увеличением степени засоления и количества токсичных солей, от сероземов к сероземно-луговым, лугово-сероземным и луговым содержания гумуса, валовых N, P, K и их подвижных форм снижается, что ведет к дальнейшей дегумификации и ухудшению показателей элементов плодородия.

Список литературы

1. Ахмедов А.У., Камиллов О. К., Рузметов М. И. — Актуальные проблемы мелиорации засоленных почв аридной зоны. В кн.: Проблемы генезиса, плодородия, мелиорации, экологии почв, оценка земель сельскохозяйственных ресурсов. Алма-Ата, Казакстан, 2002. — С. 94–102.
2. Гафурова Л., Ахмедов А., Ямнова И., Рамазанов А. — Особенности засоления гипсированных почв подгорной равнины Голодной степи. Ж.: «Вестник аграрной науки Узбекистана», № 1–2, Т., 2007. — С. 24–29.
3. Гафурова Л., Ямнова И., Кузиев Р., Арабов С., Ахмедов А., Муродова З., Джалилова Г., Парпиев Г. Почвенно — мелиоративное состояние гипсоносных почв подгорной Голодностепской равнины. Ж.: «Вестник аграрной науки Узбекистана», № 2, Т., 2008. — С. 54–61.
4. Гафурова Л. А., Ахмедов А. У. Особенности засоления гипсированных почв подгорной равнины Голодной степи // Вестник аграрной науки Узбекистана. № 1–2 (27–28), 2007. — С.76–79.
5. Гафурова Л. А., Мазиров М. А. и др. Основные достижения, подходы, и перспективы в повышении плодородия деградированных почв. Коллективная монография. Москва. — 2019. — 140 с.
6. Камиллов О. К. — Изменение мелиоративного состояния почв новоосваиваемой территории Голодной степи // В кн.: Объединенная сессия по вопросам мелиорации. Изд-во «ФАН», Т., 1967 г. — С. 40–72.
7. Камиллов О. К. — Об изменении мелиоративного состояния почв в новой зоне освоения // В кн.: Генезис, география и мелиорация почв Узбекистана. Тр. НИИ Почвовед. т. VIII, Т., 1972 г. — С. 210–234.
8. Кузиев Р., Ахмедов А., Гафурова Л., Ямнова И., Турапов И., Баиров А. — Современное состояние орошаемых почв Голодной степи и их мелиоративная оценка. Ж.: «Вестник аграрной науки Узбекистана», № 4, Т., 2006. — С. 35–44.
9. Махкамova Д.Ю. Проблемы плодородия засоленных почв Джизакской степи // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки инновации». Ташкент, 2010. — С.96–99.
10. Муратова З.М. — Почвенно-грунтовые воды на засоленных землях нового освоения Голодной степи. Ж.: «Почвоведение», № 5, 1974. С. 467–483.
11. Муратова З.М. — Содержание токсичных солей в водных вытяжках и почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи. Ж.: «Почвоведение», № 12, 1971. — С. 674–685.
12. Набиева Г. М., Махкамova Д. Ю., Шеримбетов В. Х. Жиззах чўли асосий тупрокларининг агрокимёвий ва кимёвий хоссалари // Ж.: «Вестник аграрной науки Узбекистана», № 3–4, Т., 2011. — С. 70–74.
13. Ahmedov A.U., Gafurova L.A. Assessment of current soil-amelioration condition of Mirzachul steppe//Vladimir agricolist. 2019. № 4. P. 7–12. DOI:10.24411/2225-2584-2019-10085.

**ПРИЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО
И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА**

¹*Г. Е. Мерзлая, ²А. Н. Новикова*

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишников, Москва
lab.organic@mail.ru*

^{1,2}*Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир
a--novikova@mail.ru*

Аннотация. На основании исследований в полевом опыте установлены эффективные, экологически безопасные системы удобрения с использованием переработанных побочных продуктов животноводства: навоза крупного рогатого скота, навоза свиного и птичьего помет — при оптимизации их доз и сочетаний с минеральными удобрениями на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве. Определено положительное влияние систем удобрения с использованием подготовленных к внесению побочных продуктов животноводства на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, а также на экологические свойства почвы. Высокая эффективность по показателям урожайности и агроэкологии агроценозов достигнута в вариантах органоминеральных систем удобрения с внесением общей дозы азота 200 кг/га, где сбор зерна с 1 га составил 4,3–4,8 т, что на 63,3–83,2% выше контроля, а окупаемость 1 кг азота удобрений 10–11 кг зерновых единиц.

Ключевые слова: переработанные побочные продукты животноводства, минеральные удобрения, дозы и сочетания, эффективность, яровая пшеница, урожайность, качество зерна, агроэкология

**EFFICIENCY AND AGROECOLOGY OF LONG-TERM USE
OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS IN SYSTEMS
OF VARYING INTENSITY**

Annotation: Based on field research, effective, environmentally friendly fertilizer systems have been established using processed by-products of animal husbandry: cattle manure, pig and bird manure, while optimizing their doses and combinations with mineral fertilizers on heavy loamy sod-podzolic soil. The positive effect of fertilizer systems using prepared by-products of animal husbandry on the yield and quality of spring wheat grains, as well as on the ecological properties of the soil, has been determined. High efficiency in terms of yield and agroecology of agroecosystems was achieved in variants of organomineral fertilizer systems with a total nitrogen dose of 200 kg / ha, where grain harvest from 1 ha was 4.3-4.8 tons, which is 63.3- 83.2% higher than the control, and the payback of 1 kg of nitrogen fertilizers is 10-11 kg of grain units.

Keywords: processed by-products of animal husbandry, mineral fertilizers, doses and combinations, efficiency, spring wheat, yield, grain quality, agroecology

В последние годы большое внимание уделяется рациональному использованию удобрений, полученных путем обработки и переработки побочных продуктов животноводства. В соответствии с Федеральным законом № 248-ФЗ от 14.07.2022 г. «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (пункты 1 и 2 статьи 2) побочные продукты животноводства представляют собой вещества, образуемые при содержании сельскохозяйственных животных, включая навоз, помет, подстилку, стоки, и используемые в сельском хозяйстве [1].

Обращение таких продуктов относится к деятельности по их хранению, обработке, переработке, транспортировке, реализации и использованию в агропроизводстве.

Цель настоящей работы — дать оценку агрохимической и экологической эффективности обработанных и переработанных

продуктов животноводства в виде навоза крупного рогатого скота, навоза свиного и куриного помета при возделывании сельскохозяйственных культур.

Исследования проведены в полевом эксперименте на Опытном поле ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова (п. Барыбино Московской области) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при возделывании яровой пшеницы Эстер. В опыте предусматривается исследование действия органических и минеральных удобрений разной интенсивности, на важную роль которого указывал Д. Н. Прянишников [2]. В схему опыта включены варианты с приведенными выше тремя видами органических удобрений в возрастающих дозах по содержанию азота 100, 200 и 300 кг/га и с минеральными удобрениями NPK. Испытываются также варианты органоминеральной системы удобрения с тремя видами побочных продуктов животноводства в дозе по N100 на фоне минеральных удобрений N100P60K60. Размер опытной делянки 10 м² (2,5 х 4 м). Расположение вариантов последовательное со смещением. Повторность опыта трехкратная. Исследования проведены в соответствии с общепринятыми методами [3,4].

Почва перед закладкой опыта в пахотном и подпахотном слоях имела соответственно рН_{kcl} 4,5 и 4,36, Нг 2,4 и 5,5 ммоль/100 г, содержала органического вещества 1,6 и 0,6%, подвижного фосфора (Р₂О₅) 81,0 и 63,7 мг/кг, калия (K₂O) 178 и 118 мг/кг, N-NO₃ 3,1 и 2,8 мг/кг, N-NH₄ 7,6 и 8,3 мг/кг.

Химический состав используемых в опыте органических удобрений соответствовал нормативам РФ (таблица 1).

Результаты исследований показали высокий эффект всех видов применяемых удобрений при оптимизации доз. Исключение составляли только варианты со свиным навозом и птичьим пометом при внесении в низкой дозе — 100 кг/га N, где прибавки урожая зерна по отношению к контролю оказались недостоверными (при НСР₀₅=1,0 т/га).

Влияние возрастающих доз от 100 до 300 кг азота на 1 га при внесении разных видов удобрений под пшеницу было неоднозначным (рисунок 1).

Таблица 1 — Химический состав органических удобрений

Показатель	Навоз крупного рогатого скота	Навоз свиной	Птичий помет	ГОСТ Р 53117-2008
рН _{kcl}	7,3	6,3	8,6	6,0-8,5
Влажность, %	35,6	59,7	64,9	
Органическое вещество, %	21,4	55,0	78,2	50
Азот общий, в пересчете на исходную влажность, %	0,33	0,8	0,63	
Нитраты, мг/кг	142	66	88	
Аммонийный азот (N-NH ₄), %	0,01	0,09	0,21	
Р ₂ О ₅ на исходную влажность, %	0,4	1,4	0,8	
К ₂ O на исходную влажность, %	0,8	0,2	1,0	
Валовое содержание, мг/кг сух. вещества: Pb	7,9	8,1	<5,0	Не более 130,0
Cd	<0,5	<0,5	<0,5	Не более 2,0
Hg	0,02	0,01	<0,005	Не более 2,1
As	5,1	1,7	7,3	Не более 10,0
Cu	20,8	175	703	-
Zn	59	501	158	-

Варианты опыта: 1-контроль; 2-навоз КРС, N100; 3- навоз КРС, N200; 4-навоз КРС, N300; 5-навоз свиной, N100; 6- навоз свиной, N200; 7- навоз свиной, N300; 8-помет, N100; 9-помет, N200; 10-помет, N300; 11- N100PK; 12- N200PK; 13- N300PK; 14-навоз КРС, N100+N100PK; 15- навоз свиной, N100+N100PK; 16- помет, N100+N100PK.

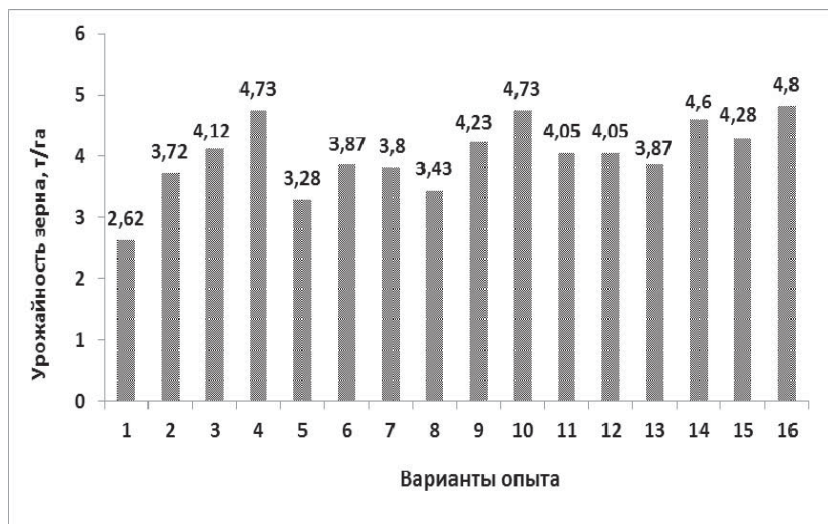


Рисунок 1 — Влияние возрастающих доз и сочетаний органических и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы

При этом последовательный рост урожайности с повышением доз наблюдался при внесении навоза крупного рогатого скота и птичьего помета. При использовании свиного навоза урожайность зерна повышалась только до дозы N200, а при внесении минеральных удобрений рост дозы азота от 100 до 200 и 300 кг/га не давал эффекта.

Важно отметить, что в последнее время обращается особое внимание на агроэкологию вносимых удобрений. Согласно нормативам [5], экологически безопасная годовая доза органических удобрений не должна превышать по содержанию азота 200 кг/га. В этом отношении было целесообразно дать сравнительную оценку продуктивности зерновой культуры при внесении разных видов удобрений. По результатам опыта, все исследуемые виды органических удобрений в дозе 200 кг/га азота обеспечили достоверный рост урожайности зерна пшеницы, составивший по отношению к контролю в варианте птичьего помета 61,4%, навоза крупного рогатого скота 57,2% и навоза свиного 47,7% (рисунок 2).

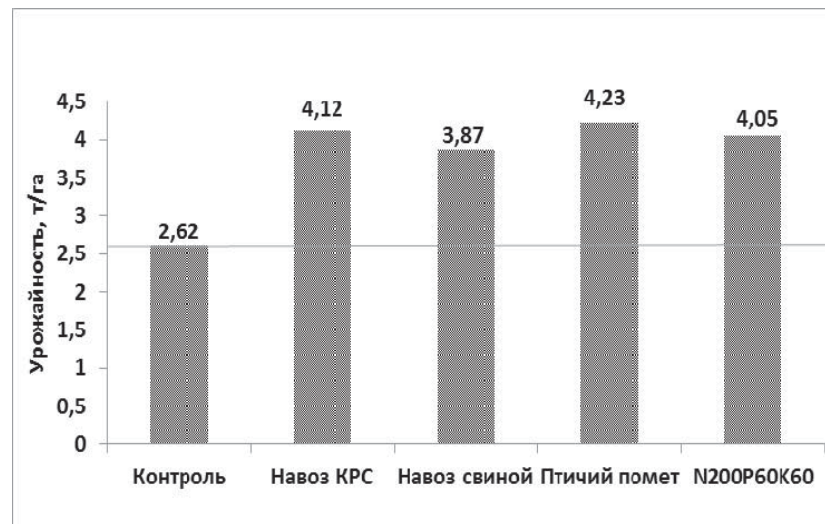


Рисунок 2 — Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы ($HCP_{05} = 1,0$ т/га)

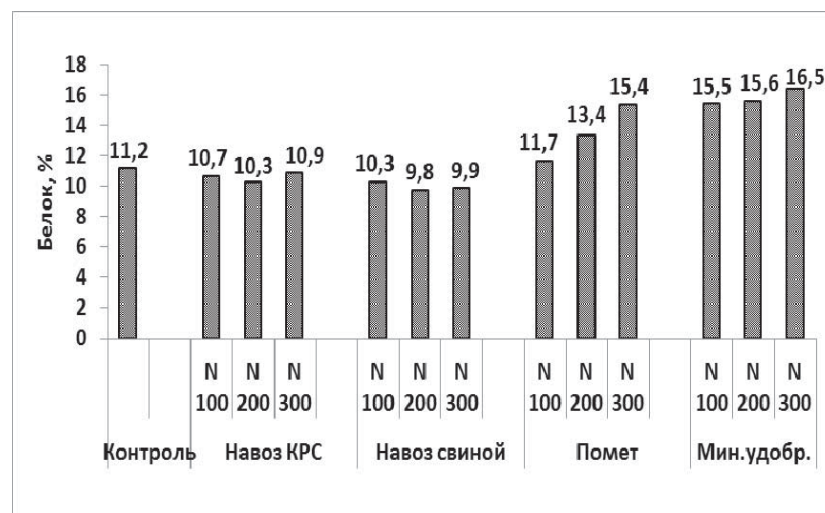


Рисунок 3 — Содержание белка в зерне яровой пшеницы в зависимости от возрастающих доз удобрений

Таблица 2 — Качество зерна яровой пшеницы

Варианты опыта	Клейковина, %	ИДК, ед.	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л
Контроль	19	91	29,9	770
Навоз крупного рогатого скота, N100	19	88	29,1	780
Навоз крупного рогатого скота, N200	19	88	30,5	770
Навоз крупного рогатого скота, N300	19	87	31,8	740
Навоз свиной, N100	18	82	30,0	760
Навоз свиной, N200	16	82	32,1	730
Навоз свиной, N300	17	83	30,6	750
Птичий помет, N100	20	87	28,8	740
Птичий помет, N200	25	84	26,8	750
Птичий помет, N300	29	89	25,8	710
Минеральные удобрения, N100P60K60	29	86	29,0	730
Минеральные удобрения, N200P60K60	30	90	27,9	740
Минеральные удобрения, N300P ₆₀ K ₆₀	30	85	27,8	740
Навоз КРС, N100+N100P60K60	25	87	29,0	740
Навоз свиной, N100+N100P60K60	28	87	26,1	750
Птичий помет, N100+N100P60K60	28	86	29,0	720

Высокая эффективность при определении урожайности и агроэкологических показателей достигнута в вариантах органоминеральных систем удобрения с внесением общей дозы азота 200 кг/га, где сбор зерна с 1 га составил 4,3–4,8 т, что на 63,3–83,2% выше контроля, а окупаемость 1 кг азота удобрений 10–11 кг зерновых единиц.

Другими словами, из трех исследуемых видов органических удобрений более высокие прибавки урожая зерна обеспечивали навоз крупного рогатого скота и птичий помет. Свиной навоз уступал этим видам удобрений, хотя и на уровне тенденции.

При внесении минеральных удобрений в дозах N₂₀₀P₆₀K₆₀ урожайность яровой пшеницы составляла 4,05 т/га, т.е. превышала контроль без удобрений, но не отличалась существенно от вариантов с побочными продуктами животноводства, внесенными в аналогичных по содержанию азота дозах (200 кг/га).

Применение подготовленных органических удобрений под яровую пшеницу позволяло получать зерно хорошего качества (рисунок 3, таблица 2). Исходя из массы 1000 семян ценное зерно формировалось в вариантах свиного навоза и навоза крупного рогатого скота, где этот показатель составлял соответственно 30–32,1 г и 29,1–31,8 г. В то же время зерно с более низкой массой 1000 зерен было у пшеницы в вариантах птичьего помета и минеральных удобрений. Лучшие показатели по содержанию белка и клейковины в зерне в сравнении с контролем, особенно при повышении доз, получены при внесении птичьего помета и минеральных удобрений. Натура зерна яровой пшеницы с высокими значениями отмечена в варианте опыта с навозом крупного рогатого скота и на контроле без удобрений. При этом важно отметить, что показатели натуры соответствовали зерну 1 класса согласно ГОСТ 9353–2016.

Установлено также, что в вариантах с удобрениями на основе побочных продуктов животноводства у яровой пшеницы формировалось зерно, благополучное в санитарно-гигиеническом отношении. В частности, в зерне в вариантах с органическими и минеральными удобрениями не выявлено по сравнению с контролем накопления тяжелых металлов (таблица 3). Не отмечалось также существенного превышения концентрации тяжелых металлов и мышьяка в зерне по отношению к нормативным значениям СанПиН 2.3.2.1078-01.

Содержание токсичных веществ в почве в вариантах опыта — тяжелых металлов и мышьяка — в конце вегетации яровой пшеницы, как правило, не превышало допустимых уровней.

Таблица 3 — Содержание тяжелых металлов и мышьяка в зерне яровой пшеницы, мг/кг

Варианты опыта	Pb	Cd	Hg	Cu	Zn	As
Контроль	<0,5	0,17	<0,025	6,5	24	<0,1
Навоз крупного рогатого скота, N100	<0,5	0,17	<0,025	6,8	25	<0,1
Навоз крупного рогатого скота, N200	<0,5	0,15	<0,025	6,8	28	<0,1
Навоз крупного рогатого скота, N300	<0,5	0,18	<0,025	6,1	27	<0,1
Навоз свиной, N100	<0,5	0,17	<0,025	7,1	26	<0,1
Навоз свиной, N200	<0,5	0,15	<0,025	6,8	29	<0,1
Навоз свиной, N300	<0,5	0,18	<0,025	7,2	26	<0,1
Птичий помет, N100	<0,5		<0,025	6,2	29	<0,1
Птичий помет, N200	<0,5	0,17	<0,025	6,4	30	<0,1
Птичий помет, N300	<0,5	0,21	<0,025	7,1	28	<0,1
Минеральные удобрения, N100P60K60	<0,5	0,24	<0,025	7,1	28	<0,1
Минеральные удобрения, N200P60K60	<0,5	0,16	<0,025	7,0	30	<0,1
Минеральные удобрения, N300P ₆₀ K ₆₀	<0,5	0,16	<0,025	7,2	29	<0,1
Навоз КРС, N100+N100P60K60	<0,5	0,21	<0,025	7,4	28	<0,1
Навоз свиной, N100+N100P60K60	<0,5	0,16	<0,025	6,7	31	<0,1
Птичий помет, N100+N100P60K60	<0,5	0,18	<0,025	6,4	30	<0,1
Допустимые уровни, мг/кг, не более (СанПиН 2.3.2.1078-01)	0,5	0,10	0,030			0,2

При определении нитратов в пахотном слое почвы было установлено повышение их содержания при внесении органических удобрений по отношению к контролю. Однако при этом их накопление не выходило за пределы нормативного значения (рисунок 4).

В то же время применение минеральных удобрений повышало содержание нитратов в почве в сравнении с контролем, что свидетельствует о необходимости проведения агроэкологического мониторинга в системе почва-растение.

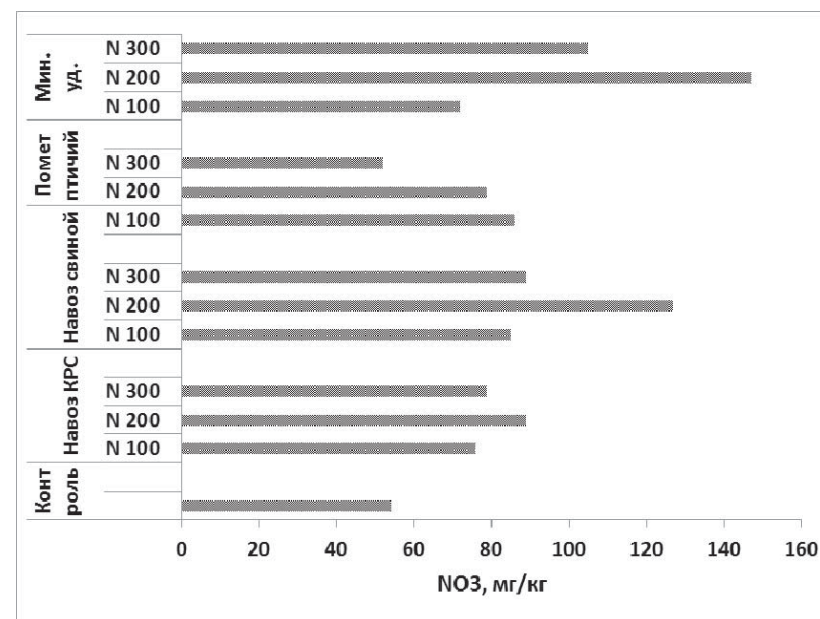


Рисунок 4 — Содержание нитратов в почве в конце вегетационного периода (ПДК 130 мг/кг)

Таким образом, на основании результатов, полученных при проведении полевого опыта определено положительное влияние систем удобрения с использованием подготовленных побочных продуктов животноводства на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и экологические свойства почвы. Высокая эффективность в этом отношении достигнута в вариантах органоминеральных систем удобрения с внесением общей дозы азота 200 кг/га, где сбор зерна с 1 га составил 4,3–4,8 т, что на 63,3–83,2% выше контроля, а окупаемость 1 кг азота удобрений достигала 10–11 кг зерна. Показано, что в целях сохранения экологического состояния дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в пахотном и подпахотном слоях и достоверного роста продуктивности яровой пшеницы эффективная доза органических удобрений: навоза крупного рогатого скота, навоза свиного и птичьего помета — составляет 200 кг/га азота, т.е. соответствует нормативной по РД АПК МСХ РФ (2024).

Список литературы

1. Федеральный закон № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». 14.07.2022 г.
2. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Том первый. М.: Колос, 1965. 767 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Колос, 1979. 416 с.
4. Методические и организационные основы проведения агроэкологического мониторинга в интенсивном земледелии (на базе Географической сети опытов) / Под ред. Н.З. Милащенко, Ш.И. Литвака. М.: ВИУА, 1991. 354 с.
5. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. РД-АПК 1.10.15.02-17**. М.: Система рекомендательных документов АПК МСХ РФ. 2024. 164 с.

УДК 631.8 : 631.45 : 631.582 : 633.1 : 633.6

ДЛИТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ — ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВООБОРОТА В ЦЧР

О. А. Минакова

ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова", Россия, Воронежская обл., Рамонский район, пос. ВНИИСС, д. 86, e-mail: olalmin2@rambler.ru

Аннотация. Длительно применяемые в зерносвекловичном севообороте ЦЧР удобрения способствовали значительному повышению содержания в почве P_2O_5 , меньшему — K_2O и азота. Система $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза обеспечивала получению максимальных урожаев сахарной свеклы и озимой пшеницы, а также обеспечивала самую высокую продуктивность 1 га пашни.

Ключевые слова: удобрения; плодородие; урожайность; сахарная свекла; ячмень; озимая пшеница; продуктивность

LONG-TERM USE OF FERTILIZERS IS THE BASIS FOR INCREASING SOIL FERTILITY AND CROP YIELDS IN THE GRAIN-SUGAR BEET CROP ROTATION IN THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION

Olga Alexandrovna Minakova

All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov, 86 VNISS, Ramonsky District, Voronezh Region, Russia, e-mail: olalmin2@rambler.ru

Abstract. Long-term use of fertilizers in the grain-sugar beet crop rotation of the Central Black-Earth Region significantly increased the content of P_2O_5 in the soil, while the content of K_2O and nitrogen decreased. The $N_{30}P_{30}K_{30}$ system combined with 2.8 tons of manure

per hectare resulted in the highest yields of sugar beet and winter wheat, as well as the highest productivity per hectare of arable land.

Keywords: fertilizers; fertility; yield; sugar beet; barley; winter wheat; productivity

Минеральные удобрения — главный ресурс управления продукционным процессом в современных агротехнологиях [1]. Удобрения способствуют повышению обеспеченности сельскохозяйственных культур элементами питания, в результате чего значительно увеличивается урожайность [2, 3, 4].

Севообороты с сахарной свеклой — одни из самых высокоинтенсивных, так как наряду с культурами невысокого выноса NPK (яровые зерновые, однолетние травы) и среднего (озимая пшеница) возделывается сахарная свекла, отличающаяся очень высокой урожайностью (современные гибриды обеспечивают урожайность на уровне 60–80 т/га корнеплодов с соответствующим количеством побочной продукции). По данным О.А. Минаковой с соавторами (2021) в условиях стационарного опыта вынос NPK с 1 га посевов культуры составлял: N — 127–147 кг, P_2O_5 — 75–104 кг, K_2O — 221–254 кг. С ростом доз удобрений наряду с увеличением урожайности повышается и вынос NPK растениями [5, 6]. Отчуждаемые из агроэкосистемы урожаями биофильные элементы должны систематически возвращаться в почву в виде удобрений [7].

Вследствие возделывания высокопродуктивных культур даже обладающие значительным плодородием черноземные почвы [8] нуждаются во внесении рациональных доз минеральных и органических удобрений. При этом отмечается оптимизация почвенного плодородия, как эффективного, так и потенциального [9, 10, 11].

Таким образом, изучение влияния длительно используемых в зерносвекловичных севооборотах удобрений на содержание NPK в почве и продуктивность пашни является актуальным для сохранения плодородия и стабильного обеспечения населения продукцией растениеводства.

Исследования проводились в 2018–2023 гг. в стационарном опыте по длительному внесению удобрений (год закладки —

1936, продолжается по настоящее время), находящегося на территории ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. Почва опыта — чернозем выщелоченный; севооборот — зерносвекловичный 9-польный, изучалось плодородие и урожайность культур в звене черный пар — озимая пшеница — сахарная свекла — ячмень. При внесении минеральных удобрений только под сахарную свеклу и навоза в пар насыщенность 1 га севооборотной площади составила: $N_0P_0K_0$ (контроль без удобрений), $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$.

В результате проведенных исследований установлено, что прямое действие минеральных удобрений на сахарной свекле обеспечило повышение содержания $N-NO_3$ в почве относительно неудобренного варианта на 8,24–82,4 % (таблица 1), при этом создавалась разная обеспеченность элементом: в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза — низкая, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ — средняя, а в контроле и при $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза — очень низкая. При внесении удобрений выявлено увеличение содержания подвижных форм P_2O_5 на 31,3–113 % относительно контроля; обеспеченность элементом в контроле и в варианте $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза соответствовала средней, при увеличении насыщенности от $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза до $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза она возрастала до повышенной. Удобренность повышала содержание K_2O в почве по отношению к контролю на 10,1–37,3 %, обеспеченности в контроле и при $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза была высокой, а при $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ — очень высокой.

При последствии удобрений на 1 год в посевах ячменя выявлено повышение содержания азота в почве на 11,1–44,4 % по сравнению с неудобренным вариантом (кроме $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза), P_2O_5 — на 12,6–56,3 %, K_2O — на 8,11–12,2 % соответственно. Обеспеченность азотом как в вариантах с удобрениями, так и в контроле была очень низкая, P_2O_5 в контроле и при $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза — средняя, при увеличении насыщенности — высокая, K_2O — высокая во всех вариантах опыта.

Последствия минеральных удобрений на озимой пшенице в паровом звене нет, но имеется прямое действие навоза, что способствовало повышению содержания нитратного азота на 35,8–158 % (кроме варианта $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза) по сравнению с контрольным вариантом, P_2O_5 — на 28,4–74,3 %, K_2O — на 5,80–21,7 % соответственно. Обеспеченность азотом почвы также была очень низкой, P_2O_5 — повышенной в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ и средней — в контроле и при $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, K_2O — высокой во всех вариантах (таблица 1).

Лучшее эффективное плодородие под всеми культурами обеспечил вариант с насыщенностью $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, под сахарной свеклой также высокое содержание азота и K_2O отмечалось при $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$. При действии системы $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза в посевах всех культур отмечалось высокое содержание обменного K_2O .

Таблица 1 — Содержание НРК под посевами культур, мг/кг почвы

Вариант	Сахарная свекла			Ячмень			Озимая пшеница		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₀ P ₀ K ₀ (контроль)	8,5	67	158	4,5	87	148	1,20	74	138
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 2,8 т/га навоза	9,2	88	174	6,6	98	146	2,39	95	146
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 2,8 т/га навоза	13,9	127	182	5,6	129	164	2,21	117	148
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 2,8 т/га навоза	15,5	143	203	6,5	136	170	2,32	129	158
N _{26,6} P _{26,6} K _{26,6} + 5,6 т/га навоза	12,2	113	214	3,9	114	186	1,63	97	168
N _{42,2} P _{42,2} K _{42,2}	15,4	137	217	5,0	106	160	3,09	111	160
НСР ₀₅	0,5	5	12	0,3	5	8	0,1	5	7

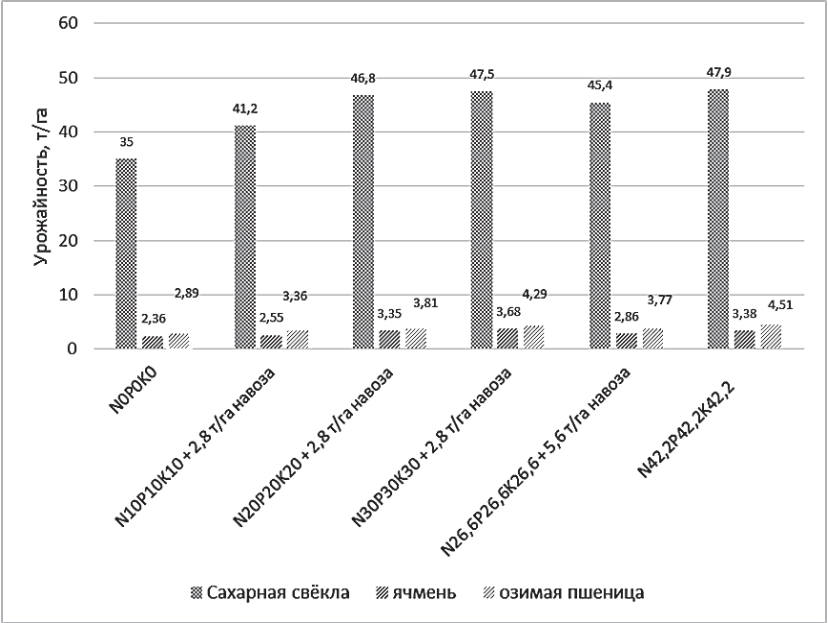


Рисунок 1 — Урожайность культур зерносвекловичного севооборота, т/га

Уровень урожайности корнеплодов сахарной свеклы в опыте составил 35,0–47,9 т/га (рисунок 1), наибольшая величина показателя была отмечена в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$. Прямое действие удобрений обеспечило повышение урожайности корнеплодов на 6,2–12,9 т/га (+17,7–36,9 %) относительно контроля.

Последствие удобрений достаточно сильно проявилось на ячмене, урожайность которого в удобренных вариантах составила 2,55–3,68 т/га, увеличиваясь в вариантах с использованием агрохимических средств на 0,19–1,02 т/га к контролю (+8,05–55,9 %). Система удобрения с насыщенностью $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза оказалась наиболее эффективной и в последствии. Озимая пшеница использовала только прямое действие навоза, внесение минеральных удобрений далеко отстояло по севообороту (4-я после удобренной сахарной свеклы в клеверном звене), и, следовательно, их влияние не прослеживалось. Но общее повышение

плодородия зерносвекловичного севооборота обеспечивало её урожайность на уровне 3,36–4,51 т/га, повышение относительно неудобренного варианта составило 0,47–1,62 т/га (в процентном отношении — на 16,3–56,1 %), максимально — в варианте с наибольшей насыщенностью NPK ($N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$).

Действие системы $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза несмотря на высокую насыщенность NPK не обеспечивали максимальную урожайность изученных культур, что также проявилось и в содержании элементов питания в почве.

Наиболее тесная связь урожайности с уровнем удобренности отмечалась в посевах сахарной свеклы и озимой пшеницы ($r^2=0,872-0,873$) (таблица 2), несколько ниже — в посевах ячменя. Применение удобрений в самой большой степени способствовало повышению урожайности сахарной свеклы, в самой низкой — ячменя.

Длительная удобренность севооборота способствовала повышению продуктивности 1 га пашни на 0,68–1,44 т/га зерн. ед. (рисунок 2) относительно контроля (+16,3–35,7 %), максимальная величина отмечалась при действии системы $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (5,66 т/га), минимальная — при $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза (4,85 т/га).

Увеличение насыщенности пашни NPK способствовало последовательному повышению продуктивности (более всего от $N_0P_0K_0$ до $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза — на 0,66 т/га зерн. ед.), а системы $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ не обеспечивали дальнейшего повышения показателя относительно менее насыщенной дозы ($N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза), вследствие избыточной насыщенности элементами питания.

Таблица 2. Влияние удобренности на урожайность сельскохозяйственных культур

Культура	Уравнение регрессии	R ²
Сахарная свекла	$Y = 0,022X + 36,3$	0,873
Ячмень	$Y = 0,002X + 2,37$	0,602
Озимая пшеница	$Y = 0,003X + 2,87$	0,872

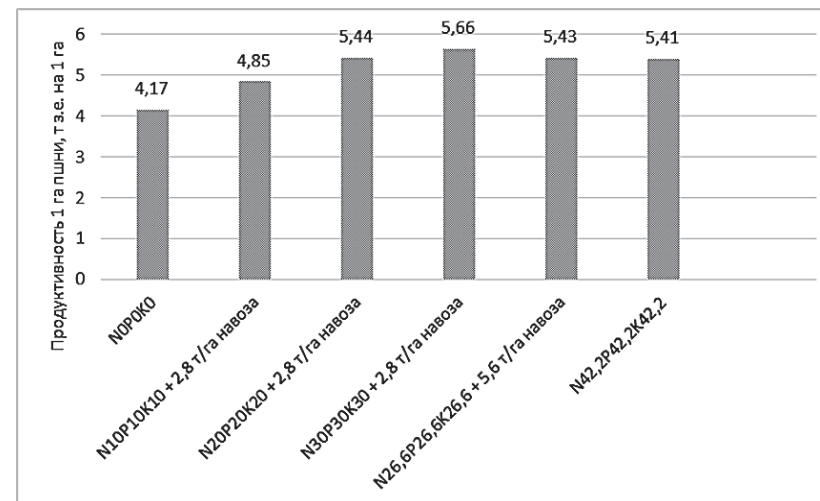


Рисунок 2 — Продуктивность 1 га пашни в стационарном опыте, т з.е.

Заключение

Результатом длительного использования удобрений в зерно-свекловичном севообороте лесостепи ЦЧР является повышение плодородия выщелоченного чернозема, которое более всего выражалось в увеличении содержания подвижного P_2O_5 в почве, менее всего — K_2O .

Отмечено стабильное повышение содержания подвижного P_2O_5 в почве с переводом в градации более высокой обеспеченности как под зерновыми культурами, так и под сахарной свеклой.

При достаточно высоком содержании K_2O в выщелоченном черноземе в неудобренном варианте прямое действие удобрений несколько повышало его концентрацию, обеспечивая перевод в градацию с очень высокой обеспеченностью, при последствии обеспеченность оставалась высокой.

Прямое действие удобрений увеличивало содержание нитратного азота с повышением обеспеченности, а последствие — нет.

Под сахарной свеклой содержание NPK в почве как результат применения удобрений возрастало в большей степени, чем под озимой пшеницей, менее всего — под ячменем.

Связь удобренности с урожайностью более всего проявилась на сахарной свекле и озимой пшенице.

Последействие минеральных удобрений и прямое действие навоза обеспечивала значительные прибавки урожайности зерновых культур (на 8,05–56,1 % относительно контроля), а прямое действие туков на сахарной свекле — несколько меньшие (+17,7–36,9 %).

Самый высокий уровень эффективного плодородия почвы, наибольшая продуктивность 1 га пашни, а также урожайность сахарной свеклы и ячменя обеспечивается применением в севообороте системы $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, что создается использование 2 раза за ротацию $N_{135}P_{135}K_{135}$ под сахарную свеклу и 25 т/га навоза в пару.

Список литературы

1. Сычёв В. Г., Ефремов Е. Н. Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности / Агрохимия в XXI веке. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева. 2018. С. 34–41.
2. Дмитриев Н. Н., Жито В. В., Мохосова Н. И. Продуктивность ячменя на фоне длительного внесения минеральных удобрений в условиях Иркутской области // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 22–23.
3. Державин Л. М., Мерзлая Г. Е., Хайдуков К. П. Интегрированное применение удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях производства сахарной свеклы. М.: ВНИИА, 2015. 380 с
4. Дроздова В. В., Редина Н. Е. Влияние минеральных удобрений на питательный режим почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 111. С. 1643–1657.
5. Щеглов Д. И., Брехова Л. И. Процессы почвообразования: учебное пособие /; Воронежский государственный университет. — Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. — 58 с.

6. Кудеяров В. Н., Соколов М. С., Глинушкин А. П. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрохимия. 2017. № 6. С. 3–11.
7. Минакова О. А., Александрова Л. В., Подвигина Т. Н. Коэффициенты использования NPK из минеральных удобрений и почвы сахарной свеклой в паровом и клеверном звене севооборота в ЦЧР // Агрохимия. 2021. № 4. С. 3–8.
8. Волынкин В. И., Волынкина О. В. Действие состава удобрения и доз азота при систематическом применении в севообороте и на монокультуре пшеницы // Плодородие. 2013. № 2 (71). С. 20–22.
9. Жердецкий И. Н., Заришняк А. С., Ступенко А. В. Влияние некорневой подкормки микроудобрениями на продуктивность сахарной свеклы и содержание в ней макроэлементов // Агрохимия. 2010. № 10. С. 20–27.
10. Тютюнов С. И. Комплексная оценка влияния многолетнего применения удобрений на основные показатели плодородия чернозема типичного // Плодородие. 2021. № 3. С. 45–47.
11. Косякин П. А., Боронтов О. К., Путилина Л. Н., Манаенкова Е. Н. Содержание питательных элементов в черноземе выщелоченном в зависимости от агротехнических и погодных условий возделывания сахарной свеклы в ЦЧР // Агрохимия. 2021. № 5. С. 21–29
12. Балюк С. А., Носко Б. С., Гладких Е. Ю. Влияние удобрений на основные показатели эффективного плодородия типичных черноземов // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. № 1. С. 12–17.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА

В. С. Михальцов

*ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» имени Д.Н. Прянишникова
127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31А*

Аннотация. В ходе многолетнего полевого опыта СШ-5М, проведённого в Центральной части нечернозёмной зоны России, изучалось содержание органического вещества в почве при различной степени агрогенного воздействия без внесения органических удобрений. В результате установлено, что во всех вариантах опыта наблюдалось снижение уровня органического вещества.

Ключевые слова: длительные полевые опыты, СШ-5М, органическое вещество почвы, гумус, регрессионный анализ

CHANGES IN THE ORGANIC MATTER CONTENT OF SOD-PODZOLIC SOIL UNDER LONG-TERM FIELD EXPERIMENT CONDITIONS

Annotation. In a long-term field experiment (SSH-5M) conducted in the central part of the Non-Black Earth zone of Russia, the organic matter content of soil was studied under different levels of anthropogenic impact without the application of organic fertilizers. The results showed a decrease in organic matter content across all experimental variants.

Keywords: long-term field experiments, SSH-5M, soil organic matter, humus, regression analysis

Введение. Органическое вещество почвы (ОВП) является ключевым компонентом экосистем, оказывающим значительное влияние на физические, химические и биологические свойства почвы. Оно включает в себя остатки растительности, животных и микроорганизмов, а также продукты их разложения. Органиче-

ское вещество играет ключевую роль в формировании и поддержании основных режимов, свойств и функций почвы [Тюрин, 1937; Кононова, 1963; Пономарева, 1980; Орлов и др., 2004]. Кроме того, органическое вещество является основным резервуаром углерода в почвах, что делает его важным фактором в контексте изменения климата. Понимание процессов формирования и трансформации ОВП является актуальным для устойчивого земледелия и сохранения экосистем.

Изучение органического вещества почвы в длительных полевых опытах с удобрениями играет важную роль в понимании динамики почвенных процессов, влияющих на урожайность и плодородие почв. Такие эксперименты, проводимые на протяжении нескольких десятилетий, помогают выявить влияние различных систем удобрений и севооборотов на содержание и качество органического вещества в почве [Когут и др., 2011; Liu et al, 2013; Balík et al, 2023].

Материал и методы исследований. Исследование проводилось в условиях длительного полевого опыта СШ-5М ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова (Домодедовский район, Московская область), заложенном в 1964–1966 гг. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и модернизированном в 2011 г.

Схема включала 5 вариантов в 4 повторностях: чистый пар; зернотравяной пятипольный севооборот (с двумя системами удобрений — без удобрений и оптимальная); бессменная кукуруза (также с двумя системами удобрений).

Работы охватывали период 2011–2022 гг. Почвенные образцы отбирали по делянкам, содержание органического вещества определяли методом Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26216), подвижные фосфор и калий по Кирсанову (ГОСТ Р 54650), общий азот по Кьельдалю (ГОСТ Р 58596), данные за 2011 год взяты из работ Хайдукова [2013] и Кузиной и др. [2017].

Результаты и обсуждение. За 11-летний период отмечено уменьшение содержания органического вещества во всех вариантах опыта (от 0,15 до 0,42%, в среднем на 0,27%) (таблица 1, рисунок 1). Наибольшие потери зафиксированы в варианте с бессменным паром (0,42%) и при возделывании бессменной кукурузы без удобрений (0,29%).

Таблица 1 — Содержание гумуса, N, P, K

Год / Вариант	Ср. урожайность за 3 года з.е., ц/га	Содержание общего азота, %	Содержание гумуса, %	Содержание фосфора (Кирсанов), мг/кг	Содержание калия (Кирсанов), мг/кг
2011 ПАР	0,0	0,135	1,81	145,0	140,0
2011 Севооборот NPK	26,2	0,135	1,81	145,0	140,0
2011 Севооборот БУ	13,1	0,135	1,81	145,0	140,0
2016 ПАР	0,0	0,117	1,47	122,5	131,0
2016 Севооборот NPK	50,9	0,126	1,9	165,3	183,0
2016 Севооборот БУ	38,5	0,113	1,8	114,8	141,5
2016 Кукуруза NPK	122,8	0,1	1,55	195,8	208,5
2016 Кукуруза БУ	43,4	0,094	1,61	134,5	144,5
2022 ПАР	0,0	0,093	1,05	142,0	152,0
2022 Севооборот NPK	50,0	0,137	1,68	169,3	183,5
2022 Севооборот БУ	40,9	0,133	1,59	89,0	131,5
2022 Кукуруза NPK	85,3	0,11	1,425	219,5	251,5
2022 Кукуруза БУ	42,0	0,103	1,32	155,2	163,5
НСР (p=0,05)	6,4	0,0052	0,11	17,2	28,3

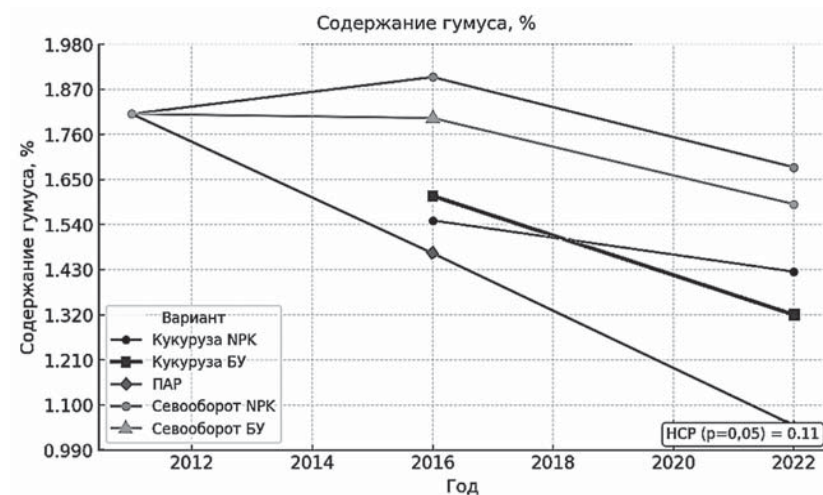


Рисунок 1 — Содержание гумуса

При этом интенсивный и экстенсивный варианты севооборота показали схожие результаты, что позволяет заключить: применение минеральных удобрений не предотвращает уменьшение запасов гумуса при отсутствии органических удобрений в системе.

Анализ относительной важности факторов (по частичным R^2) показал, что среди всех исследованных показателей наибольшее влияние на содержание гумуса оказывают три фактора: содержание общего азота, суммарное содержание подвижных форм фосфора и калия (ПК, метод Кирсанова) и средняя урожайность за 3 года. Совокупный вклад этих факторов в вариацию содержания гумуса составил более половины объясняющей способности модели ($R^2 = 0,609$). (рисунок 2).

Наибольший вклад в вариацию содержания гумуса в почве в модели вносит содержание общего азота (частичный $R^2 = 0,069$). Несмотря на то, что коэффициент регрессии имеет отрицательный знак ($\beta \approx -0,12$), данный показатель остаётся ключевым маркером гумусного состояния почв. Отрицательное направление связи объясняется тем, что избыточные концентрации азота стимулируют деятельность микроорганизмов, что ускоряет процессы минерализации органического вещества. Таким образом, высокий

уровень общего азота в условиях интенсивного земледелия может быть не показателем накопления гумуса, а напротив — фактором риска его потерь.

Вторым по значимости фактором является суммарное содержание подвижных форм фосфора и калия (частичный $R^2 = 0,062$; $\beta \approx -0,11$). Как и в случае с азотом, высокие уровни РК ассоциируются с дегумификацией. Это связано с тем, что избыток доступных элементов питания активизирует микробиологические процессы, ускоряя разложение органики и снижая запасы гумуса. Таким образом, фактор РК может рассматриваться как индикатор интенсивного минерального питания и связанной с ним деградации гумусного состояния почв.

Третьим по значимости фактором оказалась средняя урожайность (частичный $R^2 = 0,024$; $\beta \approx -0,24$). При увеличении урожайности на каждые 10 ц/га содержание гумуса снижается примерно на 0,24 %. Это связано с повышенным выносом органического вещества и азота с урожаем и активацией минерализационных процессов. Высокая продуктивность без достаточного органического восполнения усиливает дегумификацию и снижает устойчивость агроэкосистем.

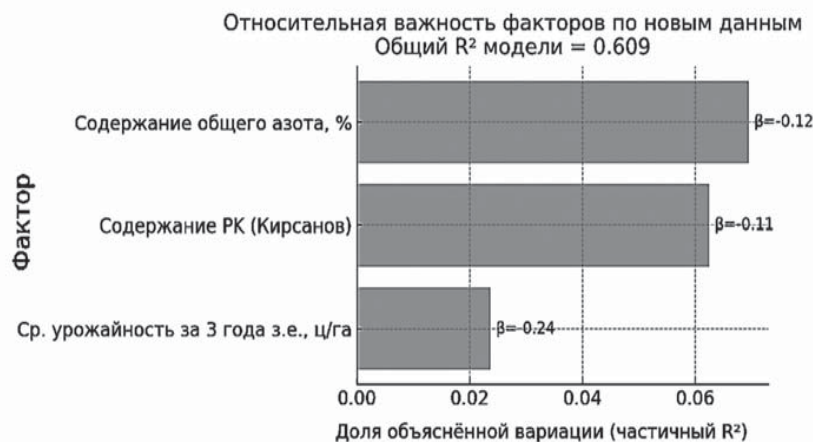


Рисунок 2 — Значимость факторов при регрессионном анализе урожайности

Список литературы:

1. Balík J., Suran P., Sedlář O., Černý J., Kulhánek M., Procházková S., Asrade D.A., Smatanová M. The Effect of Long-Term Farmyard Manure and Mineral Fertilizer Application on the Increase in Soil Organic Matter Quality of Cambisols // *Agronomy*. — 2023. — Vol. 13. — P. 2960. — DOI: 10.3390/agronomy13122960.
2. Liu E., Yan C., Mei X., Zhang Y., Fan T. Long-Term Effect of Manure and Fertilizer on Soil Organic Carbon Pools in Dryland Farming in Northwest China // *PLOS ONE*. — 2013. — Vol. 8, № 2. — DOI: 10.1371/journal.pone.0056536.
3. Когут Б. М., Фрид А. С., Масютенко Н. П., Куваева Ю. В., Романенков В. А., Лазарев В. И., Холлодов В. А. Динамика содержания органического углерода в типичном черноземе в условиях длительного полевого опыта // *Почвоведение*. — [год не указан].
4. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 314 с.
5. Кузина Н. В., Бушина Л. М., Вигилянская А. О., Тованчев И. В., Лапушкина А. А., Кузина Л. Б., Орлова Н. Л., Забугина Т. М., Коваленко А. А., Ефимов О. Е., Романенков В. А. От длительного опыта СШ-5 к длительному опыту СШ-5М: изменения агрохимических свойств почвы и качество продукции // *Сельское хозяйство*. — 2017. — № 4. — С. 1–76.
6. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Розанова М. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // *Почвоведение*. — 2004. — № 8. — С. 918–926.
7. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). — Л.: Наука, 1980. — 222 с.
8. Тюрин И. В. Органическое вещество почв. — М.–Л.: Сельхозгиз, ЛО, 1937. — 288 с.
9. Хайдуков К. П., Шевцова Л. К., Коваленко А. А., Милютин А. А. Влияние длительного применения и последствий различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы // *Плодородие*. — 2014. — № 1 (76). — С. 30–33.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ СОСТАВОВ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ

^{1,2}*С. Г. Муралев*

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский ГАУ», г. Нижний Новгород

²ООО «Волски Биохим», г. Нижний Новгород, e-mail:

muraljov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены критерии оценки ассортимента современных составов комплексных удобрений с микроэлементами для цели их объективной агрономической и экономической оценки и выбора наиболее подходящего состава с учётом конкретных условий и целей. Различные марки удобрений отличаются не только качественным и количественным составом макро- и микроэлементов, но и препаративной формой, наличием функциональных вспомогательных веществ, формой элементов питания и рядом других параметров, которые влияют на их биологическую эффективность.

Ключевые слова. Комплексные удобрения; микроудобрения; состав удобрений; параметры удобрений

EVALUATION CRITERIA FOR MODERN COMPOSITIONS OF COMPLEX FERTILIZERS WITH MICROELEMENTS

S. G. Muralev

Annotation. The range of complex fertilizers with microelements is currently very diverse and is constantly expanding. Different brands of fertilizers differ not only in the qualitative and quantitative composition of macro- and microelements, but also in their formulation form, the presence of functional auxiliary substances, the shape of nu-

trients, and a number of other parameters that affect their biological effectiveness. Therefore, in the practice of agricultural production, it is important to provide an objective agronomic and economic assessment of fertilizer brands in order to select the most appropriate composition, taking into account specific conditions and goals.

Keywords. Complex fertilizers; micro fertilizers; fertilizer composition; fertilizer parameters

Ассортимент комплексных удобрений с микроэлементами в настоящее время весьма разнообразен и постоянно расширяется. Различные марки удобрений отличаются не только качественным и количественным составом макро- и микроэлементов, но и препаративной формой, наличием функциональных вспомогательных веществ, формой элементов питания и рядом других параметров, которые влияют на их биологическую эффективность. Поэтому в практике сельскохозяйственного производства важно дать объективную агрономическую и экономическую оценку маркам удобрений для выбора наиболее подходящего состава с учётом конкретных условий и целей.

Можно выделить следующие характеристики современных составов комплексных удобрений:

1. Качественный состав. Современные составы комплексных удобрений содержат от 2 до 17 элементов питания в составе. Например, удобрения производства нижегородской научно-производственной компании ООО «Волски Биохим» Микромак и Микроэл содержат 17 и 15 элементов питания соответственно. Чем шире набор элементов питания в составе удобрения, тем на большее количество биохимических процессов в растении оно повлияет. Такие удобрения имеют, как правило, относительно невысокую концентрацию каждого элемента питания, но, тем не менее, они получили широкое распространение благодаря своей универсальности и стабильной эффективности. В то же время марки удобрений с небольшим набором элементов питания позволяют действовать целенаправленно, давая необходимые элементы питания под определённую культуру в определённую фазу.

Таблица 1 — Коэффициенты пересчёта содержания действующего вещества в удобрениях при их выражении на элемент или оксид

Элемент	Пересчет из элемента в оксид	Пересчёт из оксида в элемент
Фосфор	$P_2O_5 = P \times 2,294$	$P = P_2O_5 \times 0,436$
Калий	$K_2O = K \times 1,2$	$K = K_2O \times 0,83$
Магний	$MgO = Mg \times 1,67$	$Mg = MgO \times 0,60$
Сера	$SO_3 = S \times 2,5$	$S = SO_3 \times 0,40$
Кальций	$CaO = Ca \times 1,339$	$Ca = CaO \times 0,714$
Натрий	$Na_2O = Na \times 1,348$	$Na = Na_2O \times 0,742$
Бор	$B_2O_3 = B \times 3,18$	$B = B_2O_3 \times 0,314$
Молибден	$MoO_3 = Mo \times 1,5$	$Mo = MoO_3 \times 0,667$

2. Количественный состав. Очевидно, что чем выше концентрация элемента питания в составе удобрения, тем более эффективным оно должно быть при прочих равных условиях. При оценке содержания действующего вещества азот принято пересчитывать на элемент, а фосфор и калий — на соответствующие оксиды. Однако в случае с другими элементами питания (кальций, сера, даже бор и молибден), пересчёт может быть произведён как на элемент, так и на оксид, что может вводить в заблуждение, поскольку номинальные значения могут сильно отличаться. Например, номинальное содержание серы в пересчёте на S и SO_3 отличается в 2,5 раза (таблица 1).

Между качественным и количественным составом существует обратная зависимость: чем больше набор элементов питания в составе удобрения, тем меньше концентрация каждого элемента, поскольку увеличение количества одного элемента питания ограничивает количество другого. Поэтому, чем выше концентрация элемента питания, тем меньше в нём других элементов и/или более бедный качественный состав.

Следует отметить, что количество элементов питания может быть выражено различными единицами измерения. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51520–99 «Удобрения минеральные. Общие технические условия» количество азота, фосфора, калия и микроэлементов должно выражаться массовой долей в процентах.

Однако производители сухих удобрений обычно указывают состав в г/кг, а жидких — в г/л, что логично, поскольку фактически в соответствии с установленными регламентами применения используются килограммы и литры. Для жидких удобрений иногда используется такая единица измерения как объёмная доля в процентах (таблица 2).

3. Соотношение элементов питания. Повышенное содержание определённого элемента питания в составе во многом определяет назначение комплексного удобрения. Например, при проведении листовых подкормок сахарной свёклы отдают предпочтение удобрениям с повышенным содержанием бора, а зернобобовых культур — молибдена.

Таблица 2 — Пример пересчёта состава удобрений в различных единицах измерения

Элемент питания	Страда N (ООО «Волски Биохим»)			Aqualis 20–20– 20+МЭ (EuroChem Group)	
	% мас.	г/л	% об.	% мас.	г/кг
Азот	27	374	37,4	20	200
Фосфор (P_2O_5)	2,0	28	2,8	20	200
Калий (K_2O)	3,0	42	4,2	20	200
Магний (MgO)	0,15	2,1	0,21	-	-
Сера (SO_3)	1,26	17,5	1,75	-	-
Железо	0,03	0,42	0,042	0,07	0,7
Бор	0,016	0,22	0,022	0,02	0,2
Медь	0,06	0,83	0,083	0,005	0,05
Цинк	0,13	1,8	0,18	0,01	0,1
Марганец	0,05	0,7	0,07	0,005	0,05
Молибден	0,05	0,7	0,07	0,004	0,04
Кобальт	0,001	0,014	0,0014	-	-
Селен	0,001	0,014	0,0014	-	-

4. Форма соединения в удобрении для ряда элементов питания имеет большое значение. Например, амидная форма азота является наилучшей для проведения листовых подкормок, тогда как при внесении в почву наиболее быстрый эффект достигается при внесении нитратной формы.

5. Препаративная форма. Распространены жидкие (водный раствор, суспензия) и сухие (кристаллические, гранулирование, мелкогранулированные) препаративные формы. Преимущества сухих форм заключаются в отсутствии балласта в виде воды и более высокой концентрации элементов питания, а преимущества жидких — в большей технологичности, поскольку не требуется их растворение в воде. Кроме того, в состав жидких удобрений проще включать различные функциональные добавки.

6. Форма элементов питания в удобрении. Изначально применялись только минеральные формы удобрений — в основном, соли и их кристаллогидраты. С развитием физиологии растений, биохимии и химических технологий началось применение хелатов — комплексных соединений, в которых центральный атом или ион связан одновременно с двумя или более донорными атомами полидентатного лиганда (хелатирующего или хелатообразующего реагента). Однако хелатироваться могут только катионы двух- и трёхвалентных металлов — Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} .

Хелаты практически не токсичны для растений, стабильны при хранении в жидкой форме, обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне pH, хорошо адсорбируются на поверхности листьев и в почве, длительное время не разрушаются микроорганизмами, хорошо сочетаются с различными пестицидами (Вильдфлуш И.Р., Персикова Т.Ф., Саскевич П.А. и др., 2015). Многие преимущества хелатов металлов характерны для некоторых органических соединений неметаллов. Например, для бора форма борэтанолamina стала «золотым стандартом» борных удобрений и широко применяется в сельскохозяйственном производстве (Мастеров А. В., Цыганов А. Р., 2024). Такие удобрения выпускаются в жидкой препаративной форме, имеют высокое содержание бора — 130–150 г/л, содержат органический азот в аминной форме.

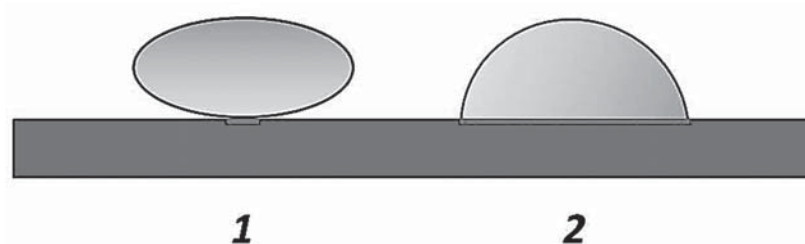


Рисунок 2. Растекание капли водного раствора удобрений без смачивателя (1) и с наличием смачивателя в рабочем растворе (2)

7. Наличие функциональных добавок. Например, наличие веществ с поверхностно-активными свойствами (смачивателей) в составе препаратов уменьшает поверхностное натяжение водного раствора, что способствует его растеканию по поверхности листа, покрытого гидрофобной кутикулой, увеличению площади соприкосновения раствора удобрения (рисунок 2) и повышению эффективности обработки.

Другими видами функциональных веществ являются различные ростостимулирующие вещества (аминокислоты, янтарная кислота и др.). Сочетание аминокислот с микроэлементами имеет более высокую эффективность относительно хелатов металлов (Можарова И.П., Шаповал О.А., 2021).

8. Способ применения. Традиционным способом применения удобрений является внесение их в почву. Однако внесение микроэлементов в почву считается нецелесообразным (Лапа В.В., Рак М.В., 2017). Основными приёмами внесения микроэлементов в настоящее время являются предпосевная обработка семян и некорневая подкормка по вегетирующим растениям (Титова В.И., 2021). Обработка семян и опрыскивание растений являются наиболее эффективными способами использования микроэлементов (Анспок П.И., 1990). В условиях капельного орошения комплексные удобрения с микроэлементами вносятся с поливной водой.

9. Норма расхода удобрения определяется в процессе его разработки и государственной регистрации. Вышеперечисленные

свойства удобрения в значительной степени влияют на его норму расхода. Чем больше содержится макроэлементов в составе удобрения, тем больше его норма расхода, поскольку потребность растения в макроэлементах больше. Элементы питания в форме хелатов обеспечивают высокую эффективность удобрений при меньшей норме расхода, относительно их минеральных форм. Наличие функциональных добавок повышает эффективность состава удобрения и может способствовать уменьшению нормы расхода.

Выводы. Составы современных удобрений с микроэлементами отличаются высоким разнообразием параметров. Важными критериями их оценки являются не только качественный и количественный состав, но и препаративная форма, форма элементов питания, наличие функциональных добавок.

Список литературы

1. Анспок П.И. Микроудобрения: справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ленинград (Ленинградское отд-ние): Агропромиздат, 1990. — 271 с.
2. Вильдфлуш И.Р., Персикова Т.Ф., Саскевич П.А. и др. Применение микроудобрений и регуляторов роста в интенсивном земледелии. — Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. — 46 с.
3. Лапа В.В., Рак М.В. Состояние плодородия почв и применение удобрений в республике Беларусь / Прогноз состояния и научное обеспечение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения: материалы XI Международного симпозиума НП «Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов», Ялта, 01–09 июня 2017 года. — Ялта: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2017. — С. 65–73.
4. Мастеров А.В., Цыганов А.Р. Обзор регуляторов роста и микроудобрений для ярового рапса в Республике Беларусь // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур : сборник статей по материалам XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Н. И. Протасова, Горки, 30–31 января 2024 года. — Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. — С. 152–156.
5. Можарова И.П., Шаповал О.А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Зависимости от применения удобрений на основе комплекса микроэлементов с аминокислотами // Плодородие. — 2021. — № 5(122). — С. 49–52. — DOI 10.25680/S19948603.2021.122.12.
6. Титова В.И. Агрохимия — 2021: Учебное пособие / Нижегородская ГСХА. — Н. Новгород, 2021. — 208 с.

ВЛИЯНИЕ ДОЗ И СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО СВИНОГО НАВОЗА НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ

¹С. И. Новоселов, ¹А. М. Комелин, ²Г. Е. Мерзлая

¹ ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424001,

Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1,

E-mail: serg.novoselov2011@yandex.ru, тел. 8(927)680-63-22

²ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»,

127550, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31 а,

E-mail: lab.organic@mail.ru.

Аннотация. Проведены исследования в полевом опыте на дерново-подзолистой почве по влиянию доз и способов внесения гомогенизированного бесподстилочного жидкого свиного навоза на урожайность зерна озимой пшеницы и баланс питательных элементов. Установлено, что урожайность зерна озимой пшеницы возрастала с увеличением дозы навоза от 60 до 90 т/га. Дальнейший рост дозы навоза до 120 т/га не приводил к достоверному повышению урожайности и снижал оплату 1 т удобрения прибавкой урожая зерна. Внутрипочвенное внесение навоза при оптимизации доз обеспечивало увеличение урожайности зерна по сравнению с поверхностным способом в среднем на 7%. Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы 4,54 т/га, что на 77,3% выше контроля, получена при внутрипочвенном внесении 90 т/га жидкого навоза и подкормке этим удобрением в дозе 20 т/га, т.е. при суммарной дозе по содержанию азота 220 кг/га. Подкормка озимой пшеницы 20 т/га жидкого навоза достоверно повышала урожайность зерна с 2,56 до 3,1 т/га, или на 21,1%. Внесение навоза в дозе 60 т/га обеспечивало положительный баланс азота и фосфора и бездефицитный баланс

калия в почве. С увеличением дозы жидкого свиного навоза отмечен положительный баланс всех исследуемых основных элементов питания растений.

Ключевые слова: жидкий свиной навоз; дозы и способы внесения; озимая пшеница; урожайность; баланс элементов питания в почве

THE EFFECT OF DOSES AND METHODS OF APPLICATION OF PREPARED LIQUID PIG MANURE ON THE YIELD OF WINTER WHEAT AND THE BALANCE OF NUTRIENTS IN THE SOIL

Annotation: The effect of doses and methods of applying prepared lint-free liquid pig manure on the yield of winter wheat grains and the balance of nutrients in the soil has been studied. With an increase in the dose of manure to 90 t/ha, the yield of winter wheat grain increased. Increasing the dose to 120 t/ha did not lead to a significant increase in yield, but it reduced the payback of 1 t of liquid organic fertilizer by increasing grain yield. The intra-soil application of manure provided a significant increase in grain yield compared to the surface method. On average, over 3 years, the maximum yield of winter wheat grain of 4.54 t/ha was obtained by intra-soil application of 90 t/ha of manure and top dressing with liquid organic fertilizer at a dose of 20 t/ha. Top dressing of winter wheat in this dose increased grain yield from 2.56 to 3.1 t/ha. The application of liquid pig manure at a dose of 60 t/ha provided a positive balance in nitrogen and phosphorus and a deficiency-free balance in potassium. With an increase in the dose of liquid manure, the positive balance for all food elements increased.

Keywords: liquid pig manure; doses and methods of application; winter wheat; yield; balance of nutrients

Интенсификация отрасли свиноводства сопровождается увеличением объемов побочных продуктов, в том числе в виде бесподстилочного навоза [1]. Накопление побочных продуктов на фермах и комплексах в больших количествах может представлять серьезную санитарную и экологическую угрозу [2]. Традиционная технология внесения жидкого свиного навоза основана на

разливе его по поверхности поля, основным недостатком которой является низкая экономическая эффективность и возможность загрязнения окружающей среды [3]. Поэтому разработка эффективных и экологически безопасных технологий применения жидкого свиного навоза является важной народнохозяйственной задачей. Одним из путей повышения эффективности использования жидких органических удобрений может служить их внутрипочвенное внесение [4]. Внедрение таких технологий сдерживается отсутствием научных разработок по их агроэкологической эффективности. В связи с этим на опытном поле Марийского государственного университета, расположенного на территории АО ПЗ «Шойбулакский», был заложен стационарный полевой опыт по изучению эффективности доз и способов внесения жидкого органического удобрения на основе свиного навоза при возделывании озимой пшеницы. Исследования проводили в 2018–2022 гг. Жидкий свиной навоз до посева вносили в дозах 60, 90 и 120 т/га, что соответствовало по содержанию азота дозам N120, N180 и N240 кг/га. Подкормку озимой пшеницы жидким навозом проводили в весеннее кушение в дозе 20 т/га (N40). Как для поверхностного, так и для внутрипочвенного внесения использовали машину МЖУ–20–1. Озимую пшеницу сорта Московская 56 выращивали по викоовсяной смеси, используемой на зеленый корм. Полевой опыт заложен в трехкратной повторности методом расщепленных делянок. Почва опыта дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая малогумусная на опесчанном покровном суглинке. Перед закладкой опыта почва имела следующие агрохимические показатели: pH_{kcl} 5,6–5,7, Нг (по Каппену) 1,9 ммоль/100 г, S (по Каппену-Гильковицу) 12,0 ммоль/100 г, V — 86,3%, содержание гумуса (по Тюрину) 1,85–2,0%, Нлг (по Корнфилду) 98–106 мг/кг (в вытяжке по Кирсанову), P_2O_5 262–293 мг/кг, K_2O 128–162 мг/кг. Агротехника возделывания озимой пшеницы — рекомендуемая для зоны. Агрохимические анализы почвы и растений проводили общепринятыми методами. В опыте использовали жидкое органическое удобрение на основе свиного навоза, приготовленное в соответствии с ТУ ГОСТ 33830–2016, с содержанием азота 0,2 %, фосфора 0,08% и калия 0,17%. Технология приготовления заключалась в накоплении жидкого навоза в

навозных ваннах в течение 14 дней с применением биопрепаратов для деструкции (Тамир, Доктор Роббик и др.). Далее по системе трубопроводов жидкий навоз поступал в жижеборник, где его выдерживали в течение 7 дней, а затем направлялся в лагуны-накопители с выдерживанием 8–12 месяцев до момента внесения. Перед внесением в почву навоз гомогенизировали, аэрировали с помощью навесных и понтонных миксеров до однородного состояния. Перед внесением навоза отбирали его пробы для определения агрохимических и ветеринарно-санитарных показателей.

Проведенные исследования показали, что на урожайность зерна озимой пшеницы оказывали влияние погодные условия и обеспеченность растений минеральным питанием. Наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы была получена в благоприятные 2019 г. и 2022 г. С улучшением условий питания растений урожайность возрастала. Эффективность жидкого свиного навоза зависела от дозы и способа внесения (таблица 1).

При выращивании озимой пшеницы без применения удобрений урожайность зерна в среднем за 3 года составила 2,56 т/га. Поверхностное внесение навоза в дозе 60 т/га обеспечило получение 3,22 т/га зерна. При этом окупаемость навоза составила 11,0 кг/т. Внутрипочвенное внесение по сравнению с поверхностным увеличивало урожайность зерна на 0,28 т/га при окупаемости 15,7 кг/т.

Внесение жидкого свиного навоза поверхностно в дозе 90 т/га повысило урожайность озимой пшеницы до 3,82 т/га, а окупаемость до 14,0 кг. Внутрипочвенное внесение той же дозы навоза обеспечило получение 4,08 т/га зерна при окупаемости 1 т 16,9 кг зерна. Увеличение дозы навоза до 120 т/га не приводило к существенному росту урожайности. При внутрипочвенном внесении жидкого органического удобрения урожайность зерна составила 4,11 т/га, а при поверхностном — 3,79 т/га. Окупаемость внесения органического удобрения при этом снизилась соответственно до 12,9 и 10,2 кг/т.

Подкормка озимой пшеницы жидким свиным навозом в дозе 20 т/га повысила урожайность зерна с 2,56 т/га до 3,1 т/га. При внесении этой дозы была получена самая высокая окупаемость навоза 27 кг/т. Весенняя подкормка жидким свиным навозом

увеличила урожайность зерна озимой пшеницы по вариантам опыта от 0,46 т/га до 0,71 т/га. В среднем за 3 года максимальная урожайность 4,54 т/га была получена при внутрипочвенном внесении соответственно 90 т/га навоза и подкормки в дозе 20 т/га. Прибавка урожая зерна соответственно составила 1,98 т/га. Следует отметить, что увеличение дозы жидкого навоза с 90 до 120 т/га не приводило к существенному увеличению урожайности зерна озимой пшеницы. При этом окупаемость органического удобрения снизилась соответственно с 16,0 до 12,8 кг/т.

Таблица 1 — Влияние доз и способов внесения жидкого свиного навоза на урожайность зерна озимой пшеницы

Подкормка	Дозы и способы внесения жидкого свиного навоза	Урожайность, т/га				Прибавка		Окупаемость, кг/т
		2019 г.	2020 г.	2022 г.	в среднем	т/га	%	
Без подкормки	Без удобрений	3,19	2,27	2,21	2,56	-	-	-
	Внутрипочвенное внесение, 60т/га	4,10	2,93	3,46	3,50	0,94	36,7	15,7
	Поверхностное внесение, 60 т/га	3,72	2,73	3,22	3,22	0,66	25,8	11,0
	Внутрипочвенное внесение, 90т/га	4,83	3,61	3,81	4,08	1,52	59,4	16,9
	Поверхностное внесение, 90 т/га	4,58	3,42	3,46	3,82	1,26	49,2	14,0
	Внутрипочвенное внесение, 120т/га	4,56	3,80	3,98	4,11	1,55	60,5	12,9
	Поверхностное внесение, 120 т/га	4,19	3,32	3,86	3,79	1,23	48,0	10,2

Подкормка жидким органическим удобрением, 20 т/га	Без удобрений	3,51	2,58	2,91	3,10	0,54	21,1	27,0
	Внутрипочвенное внесение, 60 т/га	5,00	3,30	4,12	4,14	0,58	61,7	17,3
	Поверхностное внесение, 60 т/га	4,61	2,99	3,92	3,84	1,28	50,0	12,3
	Внутрипочвенное внесение, 90 т/га	5,25	4,01	4,38	4,54	1,98	77,3	16,0
	Поверхностное внесение, 90 т/га	5,08	3,62	4,20	4,30	1,74	68,0	13,3
	Внутрипочвенное внесение, 120 т/га	5,21	4,25	4,44	4,63	2,07	80,8	12,8
НСП ₀₅	Поверхностное внесение, 120 т/га	4,98	3,63	4,91	4,50	1,94	75,8	11,7
		0,27	0,22	0,23	0,25			

Баланс питательных элементов при возделывании сельскохозяйственных культур указывает на изменение почвенного плодородия. В приходной части баланса учитывали поступление питательных элементов с жидким свиным навозом, а в расходной части — вынос зерном и соломой. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что в неудобренном варианте баланс по азоту был отрицательным и составил 65,3 кг/га. Внесение органического удобрения обеспечило положительный баланс азота. Доза навоза 60 т/га внутрипочвенно обеспечила превышение внесения над выносом азота на 22,4 кг/га, а поверхностно на 33,1 кг/га. С увеличением дозы жидкого свиного навоза положительное сальдо по азоту возрастало. В варианте с внутрипочвенным внесением жидкого навоза в дозе 90 т/га положительный баланс по азоту возрос до +54,6 кг/га, а при поверхностном разливе до +59,2 кг/га. При дозе навоза 120 т/га значение по азоту возросло соответственно до +104,1 кг/га и +113,1 кг/га. При проведении подкормки озимой пшеницы жидким удобрением в дозе 20 т/га баланс по азоту

остался отрицательным и составил 47,9 кг/га. На фоне с подкормкой во всех вариантах с основным внесением жидкого навоза положительное сальдо возрастало по сравнению с аналогичными вариантами фона без подкормки (таблица 2).

Таблица 2 — Баланс азота в почве (в среднем за 3 года исследований)

Подкормка	Доза и способ внесения жидкого навоза	Внесено, кг/га	Вынос урожаем, кг/га	Баланс, кг/га
Без подкормки	Без удобрений	0	65,3	-65,3
	60 т/га, внутрипочвенно	120	97,6	22,4
	60 т/га, поверхностно	120	86,9	33,1
	90 т/га, внутрипочвенно	180	125,4	54,6
	90 т/га, поверхностно	180	120,8	59,2
	120 т/га, внутрипочвенно	240	135,9	104,1
	120 т/га, поверхностно	240	126,9	113,1
Подкормка жидким навозом, 20 т/га	Без удобрений	40	87,9	-47,9
	60 т/га, внутрипочвенно	160	129,7	30,3
	60 т/га, поверхностно	160	120,1	39,9
	90 т/га, внутрипочвенно	220	155,8	64,2
	90 т/га, поверхностно	220	137,9	82,1
	120 т/га, внутрипочвенно	280	160,8	119,2
	120 т/га, поверхностно	280	149,7	130,3

Согласно расчетам (таблица 3), на контрольном варианте без применения удобрений был получен отрицательный баланс по фосфору, который составил 32,7 кг/га. Во всех вариантах с внесением органического удобрения баланс по фосфору был положительным. В вариантах с поверхностным внесением навоза данные положительного баланса по фосфору из-за меньшего выноса элемента урожаем превосходили варианты с внутрипочвенным внесением. С увеличением дозы внесения жидкого свиного навоза положительный баланс фосфора возрастал.

Подкормка озимой пшеницы органическим удобрением в дозе 20 т/га не компенсировала вынос фосфора урожаем. Баланс был отрицательным и составил –25,7 кг/га. На фоне с подкормкой во всех вариантах с дозами основного внесения жидкого свиного навоза положительный баланс фосфора был сильнее выражен, чем баланс в аналогичных вариантах без подкормки.

Баланс калия (таблица 4) на контроле был отрицательным и составил — 60,9 кг/га. Внесение навоза в дозе 60 т/га внутрипочвенно обеспечило бездефицитный баланс калия, а в варианте с поверхностным внесением он составил +16,8 кг/га. С увеличением дозы навоза положительное сальдо по калию возрастало. Внесение навоза в дозе 90 т/га внутрипочвенным способом улучшило баланс по калию до +39,7 кг/га, а поверхностным до +47,8 кг/га. При дозе навоза 120 т/га положительный баланс по калию соответственно составил +88,3 кг/га и +90,2 кг/га. Подкормка озимой пшеницы в фазу весеннего кущения жидким органическим удобрением в дозе 20 т/га снизила отрицательный баланс по калию до –46,2 кг/га. На фоне подкормки в варианте с внутрипочвенным внесением навоза в дозе 60 т/га баланс по калию составил +16,8 кг/га, а с поверхностным внесением +11,7 кг/га. На этом же фоне в варианте с внутрипочвенным внесением жидкого навоза в дозе 90 т/га баланс по калию составил +31,6 кг/га, а с поверхностным внесением +35,0 кг/га. Максимальное значение калия было на данном фоне в вариантах с внесением 120 т/га жидкого навоза. Применение этой дозы внутрипочвенно обеспечило положительный баланс калия +94,6 кг/га, а поверхностно +96,3 кг/га.

Таблица 3 — Баланс фосфора, (в среднем за 3 года исследований)

Подкормка	Доза и способ внесения жидкого органического удобрения	Внесено, кг/га	Вынос урожая, кг/га	Баланс, кг/га
Без подкормки	Без удобрений	-	32,7	-32,7
	60 т/га, внутрипочвенно	48	42,2	5,8
	60 т/га, поверхностно	48	38,5	9,5
	90 т/га, внутрипочвенно	72	49,7	22,3
	90 т/га, поверхностно	72	49,5	22,5
	120 т/га, внутрипочвенно	96	52,6	43,4
	120 т/га, поверхностно	96	48,6	47,4
Подкормка жидким органическим удобрением, 20 т/га	Без удобрений	16	41,0	-25,0
	60 т/га, внутрипочвенно	64	56,4	7,6
	60 т/га, поверхностно	64	47,3	16,7
	90 т/га, внутрипочвенно	88	61,6	26,4
	90 т/га, поверхностно	88	54,2	33,8
	120 т/га, внутрипочвенно	112	59,7	52,3
	120 т/га, поверхностно	112	59,9	52,1

Интенсивность баланса показывает соотношение внесенных питательных веществ к выносу урожая. Согласно расчетам, во всех вариантах с жидким удобрением по всем элементам питания интенсивность баланса была более 100 %, кроме калия при внесении навоза в дозе 60 т/га внутрипочвенно. При этом интенсивность баланса составила 99,6 % (таблица 5). Внесение жидкого навоза в дозе 60 т/га обеспечило интенсивность баланса по азоту 122,9–138,1 %, по фосфору 113,7–124,7 % и калию 99,6–119,7 %. На фоне подкормки навозом в данной дозе интенсивность баланса составила по азоту 123,4–133,3 %, по фосфору 113,5–135,3 % и калию 109,4–114,1 %.

Таблица 4 — Баланс калия, (в среднем за 3 года исследований)

Подкормка	Доза и способ внесения жидкого органического удобрения	Внесено, кг/га	Вынос урожая, кг/га	Баланс, кг/га
Без подкормки	Без удобрений	0	60,9	-60,9
	60 т/га, внутрипочвенно	102	102,4	-0,4
	60 т/га, поверхностно	102	85,2	16,8
	90 т/га, внутрипочвенно	153	113,3	39,7
	90 т/га, поверхностно	153	105,2	47,8
	120 т/га, внутрипочвенно	204	115,7	88,3
	120 т/га, поверхностно	204	113,8	90,2
Подкормка жидким органическим удобрением 20 т/га	Без удобрений	34	80,2	-46,2
	60 т/га, внутрипочвенно	136	119,2	16,8
	60 т/га, поверхностно	136	124,3	11,7
	90 т/га, внутрипочвенно	187	155,4	31,6
	90 т/га, поверхностно	187	152,0	35,0
	120 т/га, внутрипочвенно	238	143,4	94,6
	120 т/га, поверхностно	238	141,7	96,3

Внесение жидкого навоза в дозе 90 т/га обеспечило более высокие показатели интенсивности баланса. Без подкормки интенсивность баланса по азоту составила 143,5–149,0 %, по фосфору 144,9–145,4 % и калию 135,0–145,4 %, на фоне подкормки, соответственно, по азоту 141,2 — 159,5 %, фосфору 142,9–162,4 % и калию 120,3– 123,0 %.

Максимальные показатели интенсивности баланса получены при внесении жидкого свиного навоза в дозе 120 т/га. При этом без подкормки интенсивность баланса составила по азоту 176,6–198,1 %, по фосфору 182,5–197,5 % и калию 176,3–179,3 %, а с подкормкой соответственно 174,1–187,0 %, 149,7– 187,6 % и 166,0– 168,0 %.

Таблица 5 — Интенсивность баланса, % (в среднем за 3 года исследований)

Подкормка	Доза и способ внесения жидкого органического удобрения	Азот	Фосфор	Калий
Без подкормки	Без удобрений	-	-	-
	60 т/га, внутрипочвенно	122,9	113,7	99,6
	60 т/га, поверхностно	138,1	124,7	119,7
	90 т/га, внутрипочвенно	143,5	144,9	135,0
	90 т/га, поверхностно	149,0	145,4	145,4
	120 т/га, внутрипочвенно	176,6	182,5	176,3
	120 т/га, поверхностно	198,1	197,5	179,3
Подкормка жидким органическим удобрением, 20 т/га	Без удобрений	45,5	39,0	42,4
	60 т/га, внутрипочвенно	123,4	113,5	114,1
	60 т/га, поверхностно	133,3	135,3	109,4
	90 т/га, внутрипочвенно	141,2	142,9	120,3
	90 т/га, поверхностно	159,5	162,4	123,0
	120 т/га, внутрипочвенно	174,1	187,6	166,0
	120 т/га, поверхностно	187,0	149,7	168,0

Заключение. Эффективность органического удобрения в виде гомогенизированного бесподстилочного жидкого свиного навоза при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве с содержанием гумуса 1,8–2% зависела от способа и дозы его внесения. Внутрипочвенное внесение жидкого навоза обеспечивало достоверное увеличение урожайности зерна по сравнению с поверхностным способом.

В среднем за 3 года максимальная урожайность зерна озимой пшеницы 4,54 т/га была получена при внутрипочвенном внесении 90 т/га жидкого свиного навоза и подкормке этим удобрением в

дозе 20 т/га. Прибавка урожая зерна составила 1,98 т/га, или 77,3%, а оплата навоза зерном 16 кг/т. Увеличение дозы жидкого органического удобрения до 120 т/га не приводило к достоверному повышению урожайности и снижало оплату 1 т жидкого удобрения прибавкой урожая зерна до 12,8 кг.

Подкормка озимой пшеницы жидким органическим удобрением в дозе 20 т/га повысила урожайность зерна с 2,56 т/га до 3,1 т/га. При внесении этой дозы была получена самая высокая окупаемость жидкого органического удобрения — 27 кг/т.

Внесение жидкого свиного навоза в дозе 60 т/га обеспечивало в почве положительный баланс по азоту и фосфору и бездефицитный — по калию. С увеличением дозы жидкого свиного навоза отмечен положительный баланс по всем исследуемым основным элементам питания растений.

Список литературы

1. Мерзлая Г.Е. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза /Г.Е. Мерзлая и др. М.: Россельхозакадемия. — ВНИИОУ, 2006. — 463 с.
2. Минеев В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе . — М.: Росагропромиздат, 1990. — 206 с.
3. Тарасов С.И., Мерзлая Г.Е. Использование бесподстилочного навоза. Приоритетные направления исследований //Плодородие. 2018. № 6. С. 53–56.
4. Сычев В.Г., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А., Новоселов С.И., Комелин А.М. Эффективность внутрипочвенного внесения органических удобрений. Плодородие. — 2021. — № 4(121)- С.33–36.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ
ПОЧВА - РАСТЕНИЕ - КЛИМАТ**

М. М. Овчаренко

к.х.н., д.с.х.н. профессор.

Директор НПО АгроЭкологический Центр

тел 8-916-839-95-37; тел 8-906-775-02-54

rauna-m@mail.ru

Аннотация. Разработанная Д. Н. Прянишниковым теория и практика питания растений, в последние 40 лет получила дальнейшее научное изучение и применение практических технологий и ассортимента удобрений для увеличения урожайности. При этом отмечается, что растения неэффективно используют азот и фосфор, как из почв, так и из удобрений. Проявление кислотности в почве, это естественный процесс от выделительной системы корней и жизнедеятельности микоризы грибных и бактериальных ассоциаций, которые в местах их нахождения снижают величину pH в почве на 1–2 ед. При получении 1 тонны с.в. растительной массы, в почву продуцируется 5–7 кг.экв. иона водорода, соответствующее кислотности 0.17–0.23 мг.экв.Н/100гр почвы, обеспечивающее поглощение растениями фосфора в виде иона — H_2PO_4^-

Ключевые слова: питание; растения; азот; фосфор; кислотность; водород

**SCIENTIFIC RESEARCH
ON THE USE OF FERTILIZERS IN THE
SOIL-PLANT-CLIMATE SYSTEM**

M. M. Ovcharenko

Abstract. The theory and practice of plant nutrition developed by D. N. Pryanishnikov over the past 40 years has received a deep scien-

tific study and application of practical technologies and a range of fertilizers to increase yields. At the same time, plants use nitrogen and phosphorus inefficiently, both from soils and from fertilizers. Detection of acidity in the soil is a natural process of manifestation of the excretory system of roots and the vital activity of mycorrhizae of fungal and bacterial associations, which in the places of their location reduce the pH value in the soil by 1-2 units, which ensures the absorption of phosphorus by plants in the form of ion- H_2PO_4^- .

Keywords: nutrition; plants; nitrogen; phosphorus; acidity; hydrogen

Введение. Выращивание растениеводческой продукции определяется видом с.х. культур, их сортовыми и биологическими характеристиками, климатическими и почвенными условиями, системой удобрений и защитой растений. В связи с высокой изменчивостью почвенно-климатических условий для с.х культур проводится районирование видов и сортов по зонам и, соответственно, изучается и рекомендуется индивидуальная система удобрений и защиты растений.

Цель работы. Исследования эффективного применения Удобрений в системе Почва — Растение — Климат

Обсуждение результатов. Система питания растений и применения удобрений в России были начаты и глубоко изучены основоположником советской Агрохимии в России академиком Д. Н. Прянишниковым, как по основным элементам питания азот, фосфор, калий, так и их соотношениям для различных культур. Для этих целей была организована Географическая сеть опытов с удобрениями и институт ВИУА, открыты кафедры Агрохимии в сельскохозяйственных вузах страны, создана советская школа ученых Агрохимиков. Сегодня Агрохимическое направление исследований применения удобрений поддерживается институтом ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова и Агрохимической службой России, которыми за период своей деятельности проведены многочисленные исследования и опубликовано сотни научных работ, которые легли в основу практических мероприятий и технологий применения различных видов удобрений и мелиорантов в сельском хозяйстве. Теория и практика питания растений сельскохозяй-

зяйственных культур азотом и биологической азотификации, разработанная Д. Н. Прянишниковым (1), в последние 40 лет получила более глубокое научное изучение и применение в практических технологиях и ассортименте удобрений при производстве растениеводческой продукции. Во первых, расширился ассортимент азотных минеральных удобрений, таких как Аммиачная, Калиевая и Кальциевая селитры, Карбамид, КАС, Водный и Безводный аммиак, Сульфат аммония. Во вторых, разработаны машины и посевные агрегаты, подкормщики, опрыскиватели по внесению удобрений, как поверхностно и внутри -почвенно, так и с семенами и на лист по фазам вегетации (2). Разработаны биологические удобрения в виде микробных препаратов, которые в симбиозе с корневой системой обеспечивают растения азотом из удобрений и почв, фосфором и микроэлементами (3, 4). Однако для каждой культуры и конкретной почвы, при различных технологиях внесения, до настоящего времени не установлены эффективные коэффициенты поглощения растениями различных форм азота, фосфора, калия из почвы и из удобрений, а также эффективное использование питательных элементов в растении и использование азота удобрений на формирование органического вещества почв и различные формы потерь азота. Исследования показывают, что использование растениями азота из удобрений варьирует от 30.2 до 53.2% (5,6,7), а в ряде работ 70–90% (8). В практике с.х. производства в настоящее время не широко и не на всех культурах, используются диагностические методы определения различных форм азота, как в почве, так и в растениях, и их органах, а также хлорофилла в листьях, в течении вегетации, для корректировки доз применения удобрений, как азотных, так и фосфорных и калийных по фенологическим фазам развития растений. Учеными Хэнаньского с.х.-го университета Китая впервые, с использованием диагностических методов, спроектирована полностью автономная пшеничная ферма точного земледелия с применением агродронов — наблюдателей с искусственным интеллектом. В ней технологические операции от обработки земли до посадки семян и от управления посевами до сбора урожая на 100% автоматизированы автономной сельскохозяйственной техникой. На поле в 233га оптимизирована система удобрений и, как

результат, в почву вносится на 20% меньше удобрений, что привело к повышению эффективности усвоения питательных веществ на 30% (11). До настоящего времени Фосфорное питание растений остается слабо исследованным направлением, поэтому до сих пор эффективность использования фосфора растениями из почв и удобрений составляет 8–20%. В своих работах Д. Н. Прянишников показал, что на кислых почвах следует вносить фосфоритную муку, на остальных почвах-суперфосфат. Выдвинутая концепция Д. Н. Прянишниковым по применению фосфоритной муки на кислых почвах, остается актуальной до настоящего времени. На кислых почвах, с $pH_{\text{кел}}$ менее 5.5, а их в России только на пахотных угодиях 31,5 млн га, в которых обнаруживается низкое содержание кальция и высокая гидролитическая кислотность от 2 до 9 мг экв/100 г почвы и в т.ч. площадей с низким содержанием фосфора 14,5 млн га. На таких почвах применение фосфоритной муки по 180–220 кг/га в д.в. P_2O_5 агрохимически и экономически обосновано. Однако внесение фосфоритной муки в настоящее время не превышает 30 тыс. га/год. В период 1981–1990 гг фосфоритная мука вносилась на полях с.х. организацией специализированными отрядами плодородия ВПНО «Россельхозхимия» на площади 1.0–1.5 млн га/год, что позволило за эти годы повысить в почве содержание фосфора на 50–70 мг/кг на площади более 10 млн га. Исследованиями показано, что на кислых почвах с низким содержанием фосфора заменить фосфоритную муку применением высоких доз удобрений типа NP или NPK, как агрохимически, так и экономически неэффективно. Фосфоритная мука ($Ca_3(PO_4)_2$), содержащая кальций и фосфор, при попадании в почву гидролизует, поглощая 2 экв. иона водорода, с образованием аниона $H_2PO_4^-$, который поглощается бактериями, грибами и корневой системой, обеспечивая питание растений и частично снижая концентрацию водородных ионов. Агрохимический прием внесения фосфоритной муки назван фосфоритованием. Однако, эффективными агрохимикатами для снижения кислотности в почве, улучшению состава бактериально-грибной ассоциации, повышению в почве высоко молекулярных гумусовых веществ, определены вещества, содержащие углекислый кальций и магний ($CaCO_3$, $MgCO_3$). Агрохимический прием

внесения известковых агрохимикатов назван известкованием. Это агрохимическое мероприятие на кислых почвах всех видов угодий следует проводить каждые 4–7 лет на период действия известковых агрохимикатов. Проявление кислотности в почве, это естественный процесс от выделительной системы корней растений и жизнедеятельности микоризы грибных и бактериальных ассоциаций, которые в местах их нахождения в почве снижают величину $pH_{\text{ккл}}$ на 1–2 ед. Используя балансовый метод расчетов от выделения корневой системой количества органических кислот и обменного поглощения минеральных элементов корнями с микоризой, эмпирически рассчитано, что при получении одной тонны сухого вещества растительной массы, в почву продуцируется 5–7 кг экв. иона водорода (9), что соответствует кислотности 0,17–0,23 мг экв. Н/100 г почвы. В опытах с известкованием, фосфоритованием и применением минеральных удобрений на нейтральных и щелочных почвах, эмпирически расчетные данные кислотности укладывались в значения 5–7 кг экв. H^+ от одной тонны сухого вещества урожая с.х. культур (10). Полученные результаты позволяют рассчитать прохождение почвенных процессов, как количественно, так и во времени. Например, для нейтрализации кислотности, выделенной корнями и микоризой от урожая сухой массы в три тонны/га, потребуется внесение 2250 кг/га $CaCO_3$. В производственных посевах Кемеровской обл. в 2023 г на черноземе выщелоченном, с содержанием органического вещества в почве 7,8% и гидролитической кислотности 6,5 мг экв/100 г почвы после известкования и фосфоритования получен урожай яровой пшеницы 112 ц/га. Вынос азота урожаем составил 308 кг/га при внесении N_{120} кг/га в виде КАС и N_{60} кг/га в виде сульфата аммония, при наличии в почве K_2O 130 мг/кг по Чирикову. Как видим, доля внесенного в почву минерального азота в общем выносе составила 58%, при этом растения за вегетацию дважды обрабатывались гербицидами и фунгицидами, один раз микроэлементами и в колосе насчитывалось 48–52 шт. зерен. В Орловской обл. на производственном участке «Щелково-Агрохим» в текущем 2025 г. побит мировой рекорд — получен урожай озимой пшеницы сорта Ермолровка в 140,5 ц/га, а сорта Зюгановка почти в 185 ц/га (11), в колосе насчитывалось более

50 шт зерен. Система защиты растений, система удобрений, показатели плодородия почвы данных участков пока нам неизвестны. Очевидно, что вынос азота урожаем может составить не менее 450–600 кг/га с долей минерального азота более 60%. При таком выносе азота его поступление в растения для роста биомассы в течении 90 дней вегетационного периода может составлять 6,7 кг N/сутки или ежесуточно поглощается из почвы по 3 мг N/кг почвы. Как создать такой запас азота в почве и какой коэффициент его использования из почв и удобрений, следует изучать. Также, очевидно, что такие уровни урожаев в системе органического земледелия или без применения удобрений получить невозможно. В итоге следует заключить о дальнейшем проведении глубоких научных исследований по агрохимии и биологии почв, в целях разработки научно обоснованных технологий сохранения и воспроизводства плодородия почв, разработки ассортимента удобрений с хорошо водорастворимыми питательными элементами, как из гранул, так и из растворов, для различных типов почв с учетом микробно-грибных ассоциаций в почве, степени кислотности -щелочности, уровне органического вещества и других показателей, для получения заданного урожая и качества, при различных климатических условиях.

Список литературы

1. Известия ТСХА, 2016, вып.1. В. Д. Наумов. Научное наследие академика Д.Н. Прянишникова.
2. Экология Агросистем, 2022г., № 2. А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев. Азот и цели устойчивого развития сельского хозяйства.
3. Агрохимия 2022, № 10. В. Н. Башкин, Р. А. Галиулина, Повышение эффективности использования азота: Проблемы и пути решения.
4. Агрохимия. 2020. № 12. Романенков В. А., Беличенко М. В., Рухович О. В., Никитина Л. В., Иванова О. И. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных опытах агрохимслужбы и геосети РФ. <https://doi.org/10.31857/S0002188120120091>
5. Биологические исследования, 2020г., номер статьи 47, Мухаммед Анас, Фэнь Ляо, Кришан К. Верма, и др. Судьба азота в сельском хозяйстве и окружающей среде: агрономические, экофизиологические

и молекулярные подходы к повышению эффективности использования азота.

6. Проблемы Агрохимии и Экологии 2008 № 1. В.М. Семенов. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота.
7. АгроЭкоинженерия 2023г № 1. Э.В.Васильев, Н.П. Козлова. Эффективность использования азота-индикатора экологического воздействия на окружающую среду с.х. предприятия.
8. Агрохимический вестник, 2025, № 3. В.В.Окорков, И.М.Щукин, Удобрения, нитратный азот и урожай овса на серой лесной почве Владимирского ополья.
9. Агрохимический вестник, 2023, № 3. М.М.Овчаренко. Фосфор и его содержание в системе «почва — растение — удобрение».
10. Агрохимический вестник, 2024, № 1. М. М. Овчаренко, Р. В. Некрасов, О. И. Степанова, Исследование обеспеченности фосфором пахотных почв Кузбасса
11. Агро ХХ1 05.08.2025. Агроновости. Электронная версия. Н. Шаповалова. Озимая пшеница «Щелково Агрохим» побила мировой рекорд. <https://www.agroxxi.ru/>

УДК 631.452:631.454:631.5:633.1

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ

В. В. Окорков, И. М. Щукин

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»,
г. Суздаль. E-mail: okorkovvv@yandex.ru; ivan.shchukin@mail.ru

Аннотация. На серой лесной почве Владимирского ополья установлено слабое влияние систем обработки почвы на урожайность и продуктивность пяти 6-польных севооборотов. Эти параметры определялись применением удобрений и видом севооборота. Выделены три севооборота с наиболее высокой окупаемостью удобрений прибавками. После интенсивного применения удобрений в 80–90-х годах 20-го столетия изучены закономерности в питании полевых культур подвижными формами азота. После 2-х ротаций 8-польных севооборотов в 3-й и 4-й ротациях 7-польных питание культур происходило преимущественно нитратным азотом. Его запасы определяли урожайность зерновых культур. С учетом взаимосвязи мобилизационного пула азота с мобильным фондом его разработан алгоритм расчета доз азота минеральных удобрений и навоза КРС и для достижения определенной их урожайности.

Ключевые слова: серая лесная почва; Владимирское ополье; обработка почвы; азот минеральных и органических удобрений; мобилизационный пул азота

MAIN RESULTS OF RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF AGROTECHNOLOGIES FOR CULTIVATING FIELD CROPS ON THE GRAY FOREST SOIL OF THE VLADIMIR OPOLYE

V.V. Okorkov, I.M. Shchukin

Abstract. On the gray forest soil of the Vladimir opolye, a weak effect of soil cultivation systems on the yield and productivity of five

6-field crop rotations was established. These parameters were determined by the use of fertilizers and the type of crop rotation. Three crop rotations with the highest return on fertilizer additions were identified. After an intensive use of fertilizers in the 1980s and 1990s, patterns in the nutrition of field crops with mobile forms of nitrogen were studied. After 2 rotations of 8-field crop rotations, in the 3rd and 4th rotations of 7-field crop rotations, the nutrition of crops was predominantly nitrate nitrogen. Taking into account the relationship between the nitrogen mobilization pool and the mobile pool, an algorithm has been developed for calculating the doses of nitrogen in mineral fertilizers and cattle manure to achieve a certain yield.

Keywords: gray forest soil, the Vladimir Opolye, soil cultivation, nitrogen from mineral and organic fertilizers, nitrogen mobilization pool

Исследования по разработке агротехнологий возделывания полевых культур на серой лесной почве Владимирского ополья проводили в 1970–1990 гг. [1, 2] и в 1991–2022 гг. [3]. Установлена определяющая роль азота минеральных удобрений и навоза КРС в продуктивности 8-польного зерно-паро-травяно-пропашного и 7-польного зерно-паро-травяного (с занятыми парами) севооборотов. В связи с концепцией академика В.И. Кирюшина [4] о необходимости разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) в 1996–1997 гг. был заложен комплексный стационарный опыт «Агроландшафты». В нём изучалась эффективность систем удобрения в различных по интенсивности 6-польных севооборотах. Уровни применения удобрений рассчитывали на продуктивность севооборота 18–20 ц/га з.е. (нулевой уровень), 20–23 ц/га з.е. (поддерживающий), 27–35 (интенсивный) и 35–45 ц/га з.е. (высокоинтенсивный). В опыте изучалось и влияние таких элементов АЛСЗ как предшественник, 4-х систем обработки почвы, почвенные разности [5, 6].

В работе [7] было обобщено влияние систем обработки серой лесной почвы на урожайность возделываемых культур по каждой системе обработки в пяти 6-польных севооборотах в 4-й ротации. Установлено, что за 5 лет (2017–2021 гг.) наименьшая продуктивность культур получена по отвальной системе обработки в 1–3

севооборотах. Это были зерно-паро-травяные севообороты с занятым и чистым парами, характеризующиеся уровнем применения удобрений от нулевого до высокоинтенсивного. В 1-м и 2-м севооборотах использовали 40 т/га навоза КРС за ротацию и минеральные удобрения (нулевой до интенсивного уровня), в 3-м севообороте — только минеральные удобрения (интенсивный и высокоинтенсивный). В 4-м зернотравяно-пропашном севообороте при использовании только минеральных удобрений и 5-м (органоминеральном) на интенсивных и высокоинтенсивных уровнях снижения продуктивности культур по отвальной системе обработки по сравнению с другими системами обработки не наблюдали.

При рассмотрении влияния систем обработки почвы на продуктивность культур в среднем по 5 севооборотам (всем уровням интенсификации) в год их различия заметно сгладились (таблица 1). Максимальные различия в продуктивности по обработкам не превышали 4,6%. Средняя продуктивность за год варьировала в 1,2–2,0 раза. Слабое влияние обработок на продуктивность возделываемых культур на серой лесной почве Ополя было установлено и другими исследователями [8, 9].

С целью оценки эффективности севооборотов и удобрений в них в опыте «Агроландшафты» с 1996 года по настоящее время изучается влияние пяти 6-польных севооборотов и удобрений на их продуктивность в ц з.е./га. Окупаемость удобрений в них оценивалась по прибавке [2] или окупаемости средней продуктивности севооборота в зерновых единицах [6], приходящимся на 1 кг д.в. минеральных удобрений. Данные оценки были недостаточно корректны, так как выполнялись по фону органических удобрений и без них.

Поэтому на основании исследований [3] было принято, что средняя продуктивность зерно-паро-травяного севооборота без органических удобрений (контроль) составляет 87% от средней для севооборота с внесением 40 т/га навоза КРС за ротацию (нулевой уровень). Окупаемость удобрений прибавкой рассчитывали: по внесению элементов питания с минеральными и органическими удобрениями, азота с минеральными и органическими удобрениями, азота мобилизационного пула [3]. Последний пред-

ставлял сумму азота минеральных удобрений с половиной азота органических, так как было установлено, что за севооборот прибавка от применения азота минеральных удобрений примерно в 2 раза выше, чем азота органических.

Так как на серых лесных почвах Ополя определяющее влияние на урожайность полевых культур оказывает азот удобрений [3], то по окупаемости азота органических и минеральных удобрений и азота мобилизационного пула прибавкой продуктивности можно судить об эффективности применения удобрений в севообороте. Влияние последнего параметра за четыре ротации представлено в таблица 2.

Видно (таблица 2), что за четыре ротации мобилизационный пул азота был наиболее окупаемым прибавкой продуктивности во 2-м и 5-м севооборотах с органоминеральной системой удобрения, в 4-м — с минеральной системой.

Таблица 1 — Влияние погодных условий и систем обработки почвы на среднюю за 5 севооборотов в год продуктивность возделываемых культур за 2017–2021 гг., ц/га з.е.

Система обработки	2017 г., ГТК 1,79, осадки 347 мм	2018 г., ГТК 0,79, осадки 208 мм	2019 г., ГТК 1,33, осадки 294 мм	2020 г., ГТК 1,31, осадки 306 мм	2021 г., ГТК 1,04, осадки 299 мм	Среднее по системам обработки
ОВ	26,5	48,6	23,9	35,4	27,9	32,5
КЭ	29,3	46,1	24,9	39,5	26,4	33,2
КЯ	30,1	47,1	27,3	39,0	26,7	34,0
ПЭ	27,3	50,0	25,8	38,7	27,2	33,8
Средняя за год	28,3	48,0	25,5	38,2	27,0	33,4

Примечания. Системы обработки почвы: ОВ — отвальная, КЭ — комбинированно-энергосберегающая, К-Я — комбинированно-ярусная, ПЭ — пропашно-эрозийная.

Таблица 2 — Влияние удобрений и севооборотов на окупаемость азота мобилизационного пула прибавкой, кг з.е./кг N_{мбп}

Севооборот	Ротации					Средняя за 4 ротации
	1-я на 1-м поле [2], 1996–2001 гг.	1-я по 2-м полям [6], 1996–2002 гг.	1-я и 2-я на 2-м поле [6], 1998–2009 гг.	3-я для 2-го поля [6], 2010–2015 гг.	4-я для 1-го поля [7], 2016–2021 гг.	
1. Чистый пар — оз. пш-ца — овёс + мн. травы — тр. 1-го г.п. - травы 2-го г.п. —яч-нь	12,3	11,6	10,4	13,5	11,4	11,8
2. Зан. пар — оз. рожь — овёс + мн. травы — тр. 1-го г.п. — травы 2-го г.п. — яр. пш-ца	14,6	11,6	8,4	13,5	17,6	13,1
3. Травы 1-го г.п. — травы 2-го г.п. — оз. рожь — яр. пш-ца — овёс — ячмень + травы	4,4	13,2	8,2	12,3	10,0	9,6
4. Картофель — яр. пш-ца ячмень + мн. травы — травы 1-го г.п. — травы 2-го г.п. — оз. пш-ца	4,9	10,9	9,3	17,4	26,3	13,8
5. Картофель — ячмень + мн. травы — травы 1-го г.п. — оз. пш-ца — зернобобовые — яр. пш-ца	21,0	13,8	8,2	13,2	21,3	15,5
Среднее	11,4	12,2	8,9	14,0	17,3	

Примечания. Среднее применение удобрений за ротацию по севооборотам составило: за 1-й — 40 т/га навоза + N50P40K80; за 2-й — 40 т/га навоза + N150P125K235; за 3-й — N320P129K482; за 4-й — N445P130K528; за 5-й — 70 т/га навоза + N400P95K335.

Между продуктивностью севооборотов и применением удобрений установлена тесная линейная взаимосвязь. Коэффициент детерминации этой взаимосвязи со средним ежегодным применением элементов питания по ротациям севооборотов варьировал от 0,646 до 0,836, от азота удобрений — от 0,621 до 0,901, от азота мобилизационного пула — от 0,520 до 0,942. Следовательно, продуктивность севооборотов определялась его видом и уровнем применения удобрений. Влияние погодных условий (преимущественно крайняя неравномерность выпадения осадков и недостаток влаги в течение вегетационного периода) резко снижали урожайность культур, эффективность и окупаемость удобрений [10].

В работе [3] выявлено главенствующее влияние на урожай и его качество запасов нитратного азота ($N-NO_3$) в слое почвы 0–40 см, накопленных в ранние фазы роста и развития возделываемых культур, хотя исследованиями Д. Н. Прянишникова в водных культурах выявлена возможность активного поглощения ими как нитратного, так и аммонийного азота. В серых лесных почвах Ополья эти особенности связаны с прочным связыванием ионов аммония ППК.

В опыте [2, 3] коэффициент детерминации между средней продуктивностью 8-польного севооборота за 1-ю и 2-ю ротации со средними запасами $N-NO_3$ в слое почвы 0–40 см в ранний срок наблюдений по линейной, степенной и квадратичной зависимостям составлял соответственно 0,856, 0,880 и 0,908. В 3-й ротации 7-польного севооборота этот параметр для указанных взаимосвязей равнялся 0,891, 0,911 и 0,927, в 4-й — соответственно 0,812, 0,876 и 0,916.

Средние запасы нитратного азота в фазу всходов культуры в слое почвы 0–40 см в вариантах без применения азотных минеральных удобрений и навоза КРС составляли 40–60 кг/га, при внесении одинарной ($N40P40K40$) и двойной доз полного минерального удобрения возрастали в несколько раз; сочетание их с навозом КРС слабо повышало эти запасы по сравнению с одними минеральными. От доз навоза, их сочетания с РК удобрениями по сравнению с вариантами известкования и применения $P40K40$ они увеличивались всего на 30–40%, что объясняло их скромную роль в росте урожайности и продуктивности культур севооборотов.

Таблица 3 — Влияние удобрений на среднюю продуктивность 8-польного севооборота за 1-ю и 2-ю ротации, ц/га з.е. (контроль — 31,0 ц/га з.е.)

Доза навоза, т/га за ротацию	Минеральные удобрения				Среднее по навозу
	-	$P40K40$	$N40P40K40$	$N80P80K80$	
0	30,1	32,6	38,0	40,8	35,4
40	33,4	34,2	39,8	42,2	37,4
60	35,0	34,9	40,5	41,6	38,0
80	34,6	35,9	41,1	42,4	38,5
Среднее по мин. удобрениям	33,3	34,4	39,8	41,8	

Так, в среднем по 4-м дозам применения органических удобрений (0, 40, 60 и 80 т/га за ротацию) продуктивность 8-польного севооборота от одинарной дозы

$N40P40K40$ по сравнению с вариантами без минеральных удобрений возрастала с 33,3 до 39,8 ц/га з.е., от двойной дозы НРК — до 41,8 ц/га з.е. N (таблица 3). В то же время в среднем по применению минеральных удобрений (0, РК, НРК и 2 НРК) с ростом доз навоза КРС до 80 т/га она увеличивалась на 3,1 ц/га з.е.

Установлено, что урожайность и продуктивность культур в севооборотах возрастала с увеличением в почве размеров мобильного фонда азота, который состоял из суммы запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе почвы. В 1–3 ротациях он был представлен нитратным и аммонийным азотом, в 4-й — преимущественно нитратным (таблица 4). Доля нитратного азота в нем возрастала от 1-й и 2-й ротаций к 3-й и 4-й.

Как видно из данных таблица 4, в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота величина мобильного фонда азота в вариантах опыта варьировала от 70 до 208 кг/га, в 3-й ротации — от 66 до 209 кг/га. В 4-й ротации севооборота из-за низкой концентрации $N-NH_4$ в жидкой фазе в питании полевых культур азотом участвовал преимущественно $N-NO_3$, запасы которого совпадали с МФ азота. По проведенным расчетам (таблица 4), в МФ азота в 1-й и 2-й, 3-й ротациях на 54–88% преобладал нитратный азот, а в 4-й ротации он был близок к 100%.

Таблица 4 — Средние размеры мобильного фонда (МФ) азота в слое почвы 0–40 см и доля в нем N-NO₃ в зависимости от систем удобрения по ротациям севооборотов

Вариант	МФ азота, кг/га	Доля N-NO ₃ в МФ	МФ азота, кг/га	Доля N-NO ₃ от МФ	МФ азота, кг/га
	1-я и 2-я ротации, 1991–2008 гг.		3-я ротация, 2017–2015 гг.		4-я ротация, 2014–2022 гг.
1.Контроль	70	0,64	66	0,64	39,3
2.Известь (Ф)	73	0,64	67	0,63	42,3
3.Ф+РК	84	0,55	66	0,67	42,7
4.Ф+НРК	138	0,72	102	0,88	100
5.Ф+2 НРК	195	0,77	141	0,87	147
6.Ф+Н40	84	0,60	66	0,70	46,4
7.Ф+Н60	93	0,54	76	0,67	55,3
8.Ф+Н80	88	0,56	74	0,69	56,0
9.Ф+Н40+РК	76	0,60	69	0,68	51,8
10.Ф+Н40+НРК	151	0,69	128	0,77	107
11.Ф+Н40+2НРК	200	0,78	193	0,75	157
12.Ф+Н60+ РК	83	0,60	79	0,65	55,4
13.Ф+Н60+ НРК	147	0,71	140	0,72	112
14.Ф+Н60+2 НРК	188	0,80	195	0,77	162
15.Ф+Н80+РК	91	0,65	92	0,62	65,7
16.Ф+Н80+ НРК	147	0,75	143	0,78	118
17.Ф+Н80+2 НРК	208	0,76	209	0,77	171

Была предложена и более корректная оценка участия нитратного и аммонийного азота в питании полевых культур по величине нитратно-аммонийного соотношения (NAR), представляющего отношение содержания нитратного азота в почве к содержанию аммонийного азота в водной вытяжке 1:1. Это позволяло оценивать влияние подвижных форм азота в питании отдельных возделываемых культур по периодам вегетации.

Таблица 5 — Размеры формирования N-NO₃ в слое почвы 0–40 см по периодам вегетации яровой пшеницы в разные годы исследований, кг/га

Вариант	2017 г. (ГТК = 1,79)			2022 г. (ГТК = 0,54)			2023 г. (ГТК = 1,19)			2024 г. (ГТК=1,38)		
	1-й период	2-й период	3-й период	1-й период	2-й период	3-й период	1-й период	2-й период	3-й период	1-й период	2-й период	3-й период
1	34,9	59,2	62,9	41,5	47,7	57,3	74,5	18,8	80,7	46,3	11,8	41,7
2	37,6	62,3	68,1	44,0	101	58,7	63,9	38,6	81,0	53,2	11,3	44,1
3	48,5	59,5	71,0	42,2	99,0	51,3	78,7	7,7	70,6	55,6	14,2	66,3
4	67,9	88,7	102	136	26,3	102	163	0	123	107	0	61,2
5	138	56,7	121	183	146	125	182	0	111	125	0	62,5
6	51,2	57,0	91,0	32,7	50,4	67,2	96,6	16,4	119	67,8	7,5	55,9
7	59,3	60,2	88,0	54,7	40,9	63,9	116	14,1	102	67,2	11,4	78,8
8	59,7	57,4	96,0	48,5	47,7	62,1	167	0	102	69,1	14,1	78,4
9	48,2	63,3	76,0	55,2	56,1	61,2	97,6	20,6	95,0	68,0	9,6	62,3
10	74,8	70,0	78,0	137	162	86,9	144	0	93,0	104	0	69,7
11	133	71,9	124	176	129	86,4	274	0	60,0	137	0	71,6
12	53,6	57,7	76,0	49,3	68,5	71,2	103	39,8	98,0	71,6	16,0	63,1
13	68,8	78,1	103	154	146	80,2	207	0	75,0	124	0	69,2
14	137	56,6	120	194	118	147	303	0	21,0	150	0	73,0
15	68,3	84,6	86,0	68,1	29,2	60,7	157	1	76,0	68,8	15,9	77,3
16	89,3	59,1	109	146	21,8	72,8	218	0	63,0	138	0	60,0
17	140	57,0	133	234	101	136	326	0	5,0	171	0	60,0

Примечание. 1-й период — до всходов; 2-й период — от всходов до колошения; 3-й период — от колошения до уборки.

На основании определяющей роли нитратного азота в питании полевых культур азотом была проведена оценка размеров образования N-NO₃ за вегетацию и разные периоды её: до всходов, от всходов до колошения и от колошения до уборки. Размеры формирования N-NO₃ за вегетацию находили суммированием выноса азота зерном, накопления в соломе и пожнивно-корневых

остатках и запасов нитратного азота в слое почвы 0–40 см после уборки [3]. В таблица 5 и 6 на примере яровой пшеницы, идущей после занятого пара, представлены данные по размерам формирования N-NO₃ в слое почвы 0–40 см по периодам вегетации в кг/га и доли их от суммы образования за вегетацию.

Таблица 6 — Влияние минеральных удобрений на долю образования нитратного азота по фазам вегетации яровой пшеницы от суммы формирования его за вегетацию в годы исследований, %

Год исследований, ГТК	Средняя доля по 4-м дозам навоза (0, 40, 60, 80 т/га) по годам				Средняя по опыту
	0	P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	
Доля образования N-NO ₃ до всходов яровой пшеницы					
2017 год, ГТК = 1,79	26,2	27,5	30,5	42,6	31,7
2022 год, ГТК = 0,54	27,1	30,8	47,0	44,4	37,3
2023 год, ГТК = 1,19	47,1	51,5	67,0	84,4	62,5
2024 год, ГТК = 1,38	46,5	44,8	64,4	68,4	56,0
Средняя за 2017, 2022 и 2023 гг.	36,7	38,6	52,2	60,0	
Доля образования N-NO ₃ от всходов до колошения яровой пшеницы					
2017 год	30,4	33,3	30,0	18,8	28,1
2022 год	34,7	34,6	24,8	28,0	30,6
2023 год	8,6	7,8	0	0	4,1
2024 год	7,8	9,4	0	0	4,3
Средняя за 2017, 2022 и 2023 гг.	20,4	21,3	13,7	11,7	
Доля образования N-NO ₃ от колошения до уборки яровой пшеницы					
2017 год	43,4	39,2	39,5	38,6	40,2
2022 год	38,2	34,6	28,1	27,6	32,1
2023 год	44,3	40,7	33,0	15,6	33,4
2024 год	45,4	45,8	35,6	31,6	39,7
Средняя за 2017, 2022 - 2024 гг.	42,8	40,1	34,0	28,4	

В ранний период вегетации при применении азотных минеральных удобрений размеры и доля образования нитратного азота более высокие, чем при внесении навоза, что объясняет различия в прибавках от этих удобрений.

В настоящее время обычно используется разностный коэффициент использования азота удобрений на вынос его зерном или зерном и соломой. Размеры формирования N-NO₃ за вегетацию культуры более информативно можно использовать для расчёта коэффициентов использования (КИ) его на вынос азота элементами урожая (таблица 7).

Так, по действию 4-х уровней применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) с увеличением дозы NPK от одинарной до двойной КИ N-NO₃, сформированного за вегетацию, на вынос азота зерном заметно снижаются. Это подтверждает оптимальность и экологическую обоснованность применения на серой лесной почве Ополья одинарной дозы полного минерального удобрения. Применение её в сочетании с навозом КРС в дозах от 40 до 80 т/га за ротацию 7-польного севооборота обеспечивает положительный баланс гумуса, азота и фосфора, небольшой допустимый отрицательный баланс калия, меньшие потери N-NO₃ на денитрификацию и вымывание из-за снижения их запасов в почве в уборку.

Это установлено и для выноса азота зерном и соломой (таблица 7).

Из-за определяющей роли N-NO₃ на урожайность зерновых культур были проведены исследования по возможности использования взаимосвязи их запасов за вегетацию за ряд лет с мобилизационным пулом азота. Мобилизационный пул азота (S_N, кг/га) оценивали по сумме вносимого под культуру азота минеральных удобрений и половины азота, содержащегося в навозе, с учетом срока действия навоза или эквивалента минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту:

$$S_N = D_{Nm} + \frac{1}{2} D_{No},$$

где D_{Nm} — годовая доза азота минеральных удобрений, кг/га; D_{No} — среднегодовая доза азота органических удобрений, кг/га.

Таблица 7 — Влияние действия удобрений на коэффициент использования запасов N-NO₃, сформированных за вегетацию, на средний вынос азота элементами урожая яровой пшеницы за 2017 и 2022–2024 гг. исследований, %

Доза навоза за ротацию, т/га	Минеральные удобрения				Среднее по навозу
	0	P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	
на вынос зерном					
0	45,9	42,4	42,4	39,8	42,6
40	45,6	47,4	44,1	41,1	44,6
60	46,4	48,8	44,3	39,4	44,7
80	44,3	48,6	47,4	39,6	45,0
Среднее по минеральным удобрениям	45,6	46,8	44,6	40,0	
на вынос зерном и соломой					
0	56,0	56,6	57,8	54,6	56,2
40	60,8	63,4	58,8	58,3	60,3
60	62,0	64,2	60,3	56,6	60,8
80	58,8	65,8	63,4	56,2	61,0
Среднее по минеральным удобрениям	59,4	62,5	60,1	56,4	
на вынос зерном, соломой и накопление в пожнивно-корневых остатках					
0	66,3	65,0	68,2	63,7	65,8
40	71,3	73,3	67,9	66,6	69,8
60	72,3	74,1	69,4	65,2	70,2
80	69,1	76,2	73,3	64,9	70,9
Среднее по минеральным удобрениям	69,8	72,2	69,7	65,1	

Так как влияние навоза на урожайность возделываемых культур наблюдается в течение 4-х лет [11], то средний вклад доз навоза 40, 60 и 80 т/га в мобилизационный пул азота при содержании в навозе 0,45% азота должен составлять соответственно 22,5, 33,8 и 45 кг/га при ЭМУ навоза по азоту 12,5%.

Таблица 8 — Размеры формирования запасов N-NO₃ за вегетацию (мобильный фонд азота) яровой пшеницы, идущей по занятому пару, за годы исследований в зависимости от мобилизационного пула азота (S_N, кг/га)

Вариант	Средний за 4 г. S _N , кг/га	2017, ГТК = 1,79	2022, ГТК = 0,54	2023, ГТК = 1,19	2024, ГТК = 1,38	Средние
1. Без N и навоза	0	168	146	184	115	153
2. N40P40K40	40	259	264	286	168	244
3. N80P80K80	80	316	454	293	188	313
4. Навоз 40 т/га (Н40)	23,7	199	150	232	131	178
5. Н60	35,5	208	160	232	157	189
6. Н80	47,3	213	161	269	162	201
7. Н40 + P40K40	23,7	188	172	213	140	178
8. Н40 + N40P40K40	63,7	223	386	237	174	255
9. Н40 + N80P80K80	103,7	329	391	334	209	316
10. Н60 + P40K40	35,5	187	189	241	151	192
11.Н60+ N40P40K40	75,5	250	380	282	193	276
12.Н60+ N80P80K80	115,5	314	459	324	223	330
13.Н80 + P40K40	47,3	239	158	234	162	198
14.Н80+ N40P40K40	87,3	257	241	281	198	244
15.Н80+ N80P80K80	127,3	330	471	331	231	341

В таблица 8 приведены данные по влиянию удобрений на запасы N-NO₃, формируемые за вегетацию яровой пшеницы за годы исследований. Средние запасы N-NO₃ увеличивались с ростом средней величины мобилизационного пула азота по весьма тесной взаимосвязи (таблица 9). Величина ЭМУ навоза по азоту варьировала от 7,6 до 24,5%, средняя его величина за 4 года составила 13,2%, а за 6 лет — 15,1%.

Таблица 9 — Взаимосвязь экспериментальных запасов N-NO₃ (Y, кг/га), формируемых за вегетацию, с мобилизационным пулом (S_N, кг/га) на яровой пшенице за годы исследований

Год исследований	ГТК	Уравнение взаимосвязи, n = 15	R ²	ЭМУ навоза по азоту, %	Мобилизационный пул навоза по азоту для доз навоза, т/га		
					40	60	80
2009	1,09	$Y = 249 + 1,03 S_N$	0,733	22,5	40,5	60,8	81,0
2010	1,33	$Y = 147 + 1,04 S_N$	0,951	15,6	28,0	42,0	56,0
2017	1,79	$Y = 173 + 1,49 S_N$	0,905	7,6	13,7	20,6	27,4
2022	0,54	$Y = 108,5 + 3,33 S_N$	0,827	8,9	16,0	24,0	32,0
2023	1,19	$Y = 195 + 0,82 S_N$	0,665	24,5	44,1	66,1	88,2
2024	1,38	$Y = 122 + 0,91 S_N$	0,974	11,6	20,9	31,3	41,8
Среднее	-	$Y = 161 + 1,39 S_N$	0,891	15,1	27,2	40,8	54,4

Примечание. Экспериментальные запасы N-NO₃, формируемые за вегетацию, соответствовали мобильному фонду азота.

В 7-польном севообороте были установлены уравнения взаимосвязи запасов N-NO₃, формируемых за вегетацию, с мобильным пулом азота S_N, величины ЭМУ навоза по азоту за 7 лет по овсу, за 3 года по яровой пшенице, идущей по пласту трав (5-й год действия навоза), за 6 лет по ячменю, высеваемому по обороту пласта. Величина ЭМУ навоза по азоту составляла соответственно 12,3, 11,8 и 8,0%.

На основании данных таблица 9 по взаимосвязи мобильного фонда азота за вегетацию яровой пшеницы с мобилизационным пулом азота и таблица 7 по влиянию удобрений на коэффициент использования мобильного фонда на вынос азота элементами урожая предложен расчет доз внесения азота минеральных удобрений и азота навоза под культуру на запланированную урожайность. Алгоритм его на примере яровой пшеницы, идущей по занятому пару, следующий.

1. На основании затрат азота на 1 т зерна (с учетом побочной продукции [11]) определяем вынос азота урожаем 4,0 т/га (140 кг/га).

2. Применив коэффициент использования мобильного фонда азота на вынос его зерном и соломой 60,1% (таблица 7), находимся его необходимая для достижения данной урожайности величина (233 кг/га).

3. Подставляя эту величину в уравнение взаимосвязи $Y = 161 + 1,39 S_N$ (таблица 9), находим, что S_N = 52 кг азота на 1 га. Эта величина может достигаться внесением 40 кг/га азота аммиачной селитры и за счет мобилизационного пула 12 кг/га от навоза. При ЭМУ навоза по азоту 15,1% (в год действия) в нем должно содержаться 160 кг азота ($12:0,151 = 0,5$ дозы навоза). При содержании в нем 0,45% азота доза его внесения составит 18 т/га.

При применении 30 кг/га азота аммиачной селитры на мобилизационный пул навоза КРС должно приходиться 22 кг азота. При ЭМУ навоза по азоту 15,1% в ней должно находиться 146 кг азота, а его доза составит 36 т/га.

Список литературы

- Окорков В. В., Григорьев А. А., Аркадьева М. Ф. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и плодородие серой лесной почвы Владимирского ополья // Агрохимия. № 5. 1997. — С. 55–65.
- Окорков В. В. Удобрения, плодородие и урожай на серых лесных почвах Владимирского ополья. — Суздаль: Владимирский НИИСХ, 2001. — 337 с.
- Окорков В. В., Окоркова Л. А., Коновалова Л. К. Серые лесные почвы Владимирского ополья, их формирование и оценка ресурсного потенциала: удобрение и питание полевых культур. — Суздаль-Воронеж: Верхневолжский ФАНЦ, 2023. — 241 с.
- Кирюшин В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. — Пущино, 1993. — 64 с.
- Корчагин А. А. Теоретические и практические основы формирования пространственно-дифференцированных технологий точного земледелия (на примере почвенного покрова Владимирского ополья). — Владимир, «Рост», 2010. — 144 с.

6. Винокуров И. Ю., Чернов О. С. Формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия во Владимирском ополье. / Под ред. д-ра геогр. наук, проф. Б.И. Кочурова. М.: ИНФРА-М, 2024. — 194 с.
7. Мальцев И. В., Козлов А. А., Щукина В. И., Савельев О. В. Урожайность сельскохозяйственных культур в различных севооборотах при разных системах обработки почвы / «Научное наследие А.Г. Дояренко — основа в разработке систем земледелия будущего» к 150-летию со дня рождения Алексея Григорьевича Дояренко / Коллективная монография / Суздаль, ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 2024. — С. 101–106.
8. Зинченко С. И., Талеева Д. А. Системы основной обработки серой лесной почвы под яровую пшеницу // Владимирский земледелец. № 4. 2010. С. 24–25.
9. Безменко А. А. Влияние приемов основной обработки серой лесной почвы и уровня интенсивности технологии на структуру урожая и урожайность яровой пшеницы // Владимирский земледелец. № 2(72). 2015. С. 6–8.
10. Окорков В. В., Щукин И. М., Окоркова Л. А., Щукина В. И. Повышение эффективности удобрений в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Агрохимия. № 5. 2025. — С. 13–26.
11. Системы земледелия / А. Ф. Сафонов, А. М. Гатаулин, И. Г. Платонов и др.; Под ред. А. Ф. Сафонова. — М.: КолосС, 2006. — 447 с.

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ИХ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ

Л. В. Осипова, И. А. Быковская

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени
Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии») г. Москва, Россия
E-mail: bykovskaya_irina@bk.ru*

Аннотация. Проведены исследования по влиянию минерального питания на адаптивные способности растений. Минеральное питание играет ключевую роль в устойчивом развитии сельского хозяйства, способствует получению высоких урожаев и обеспечению продовольственной безопасности страны. Абиотические стрессы, вызванные дисбалансом питания, негативно влияют на рост растений и устойчивость к неблагоприятным факторам, что приводит к снижению продуктивности. Лабораторные, вегетационные и мелкоделяночные опыты, проведенные на разных уровнях минерального питания, позволили оценить адаптивные способности яровых ячменя, пшеницы, тритикале при действии стресс — факторов. Установлено, что реакция растений и их устойчивость при действии абиотических стрессов зависит от обеспеченности минеральными элементами.

Ключевые слова: минеральное питание, стресс-фактор, адаптация

MINERAL NUTRITION OF GRAIN CROPS AND THEIR STRESS RESISTANCE

L.V. Osipova, I.A. Bykovskaya

*Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute
of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov"
(FGBNU "VNI Agrochemistry") Moscow, Russia
E-mail: bykovskaya_irina@bk.ru*

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of mineral nutrition on the adaptive abilities of plants. Mineral nutrition plays a key role in the sustainable development of agriculture, as it contributes to obtaining high yields and ensuring food security of the country. However, abiotic stress caused by nutritional imbalance negatively affects plant growth and their resistance to adverse conditions, which leads to a decrease in yield. To achieve the goal of the study, experiments were conducted at two levels of mineral nutrition. These levels allowed us to evaluate the adaptive capacity under optimal conditions and under stress factors. The data obtained showed that plants react differently to changes in mineral nutrition in different climatic and soil conditions.

Key words: mineral nutrition, stress factor, adaptation

В условиях возросших климатических рисков, недобора урожая зерновых культур, вызванные неблагоприятными внешними факторами, изучение устойчивости растений к абиотическим стрессам, является актуальным и направлено на сохранение продовольственной безопасности РФ. Региональный мониторинг агрохимических условий формирования урожая при изменении климата показал, что сельскохозяйственное производство России уязвимо для опасных агроклиматических явлений — сезонных засух и волн жары, переувлажнения, периода длительных затяжных дождей, губительных заморозков.

В последние десятилетия при исследовании физиологических и биохимических аспектов реализации потенциала адаптивности сельскохозяйственных культур разработаны представления об окислительном стрессе и антиоксидантной системы растительного организма при стрессах вызванных: засухой, затоплением, высокими и низкими температурами, кислотностью среды, ультрафиолетовым излучением и др. Установлены особенности адаптации и изменения стратегии развития на всех уровнях растительного организма. Недостаток элементов минерального питания рассматривается, как стрессовый фактор, приводящий к нарушению: ростовой функции, морфологии корневой системы, транспорта метаболитов из побегов в корни, изменении активности ан-

тиоксидантных ферментов и фиксации CO_2 , что снижает продуктивность культур.

Изучены механизмы устойчивости растений к избытку микроэлементов и тяжелых металлов. Среди всесторонних исследований по влиянию абиотических стрессов на растительный организм наименее изученной является обеспеченность растений минеральными элементами и её роль в эффективности применения экзогенных предпосевных и foliarных обработок. В связи с этим изучили физиолого-биохимические закономерности формирования продуктивности зерновых культур на разных фонах минерального питания при действии различных стрессов. В серии лабораторных, вегетационных и мелкоделяночных опытов для оценки физиолого-биохимического статуса растений на отдельных этапах органогенеза определяли содержание малонового диальдегида, как показатель интенсивности свободно-радикальных процессов в норме и маркер окислительного стресса при воздействии неблагоприятных факторов среды. Оценивали степень повреждения мембран по характеру экзоосмоса электролитов из листьев, ростовые функции, активность образования фотосинтетических пигментов и способность растений к восстановлению после окончания стрессового воздействия, по интенсивности поступления меченого азота (^{15}N), как показатель репарационных возможностей растительного организма.

Опыты проводили на почвах с различным плодородием при внесении основных минеральных элементов. В результате проведенных исследований было установлено, что в течении всего онтогенеза на уровень свободно-радикального окисления в оптимальных условиях культивирования, оцениваемых по количеству МДА, был значительно выше на фоне с высоким почвенным плодородием и внесением питательных солей и сопрягался с высокой интенсивностью ростовых процессов и поглотительной способностью корневой системы. По современным представлениям процессы свободно-радикального окисления (СРО), необходимое звено метаболизма участвующие в транспорте электролитов, дыхательной цепи, дифференцировке клеток. Реакцией СРО регулируют липидный обмен биомембран и активности ферментов.

При действии абиотических стрессов генерация свободных радикалов возрастала, развивался окислительный стресс, что приводило к накоплению МДА, повышению экзоосмоса электролитов и торможения поступления ^{15}N из корневой системы в надземную часть растения. Однако при этом активизировался синтез антиоксидантов, к которым относятся пигменты фотосинтеза хлорофилл в и каротиноиды, что снижало негативное действие стрессового фактора.

На низкоплодородных почвах действие стрессов выражено сильнее, развивающийся окислительный стресс компенсировался низкой активностью антиоксидантной системы из-за недостатка элементов питания. Эффективность высоких фонов питания зависела от продолжительности и напряженности стрессовой нагрузки.

На высоком фоне минерального питания продолжительный период действия стресс-фактора, приводит к нарушению образования генеративных органов, непродуктивному повышению транспирации, закрыванию устьиц, уменьшению поглощения CO_2 и необратимому повреждению мембран. Кроме того, высокий фон питания при стрессовом воздействии приводит к проявлению скрытой гетерогенности сортовых популяций, при которой неустойчивые биотипы выпадают из посева, что усиливает их изреженность.

В ситуации не столь критической, обеспеченность минеральными элементами, способствовала реализации репарационных возможностей растительного организма, что наблюдалось на активности возобновления поступления меченого азота (^{15}N) из корневой системы в побеговую и активном поступлении ^{15}N в белки листьев.

Таким образом, уровень питания определяет интенсивности метаболизма в норме, что коррелируется ростовой функцией, продуктивностью и стратегией адаптации при абиотических стрессах.

**ВНЕСЕНИЕ СУЛЬФАТА МАГНИЯ В ВИДЕ ЛИСТОВОЙ
ПОДКОРМКИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ
УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОВСА
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

П. Ю. Панова

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва,
e-mail: panova@rgau-msha.ru*

Аннотация. В результате трехлетних полевых исследований оценивалась эффективность листовой подкормки сульфатом магния (MgSO_4) для повышения урожайности и улучшения качества зерна овса сорта Немчиновский 61 на дерново-подзолистых почвах. Обработку выполняли в конце фазы кушения. Внесение MgSO_4 достоверно повышало урожай по сравнению как с контролем, так и с фоном. В среднем за три года урожайность повысилась с 18,6 ц/га (NPK) до 20,8 и 21,8 ц/га при 15 и 30 кг/га MgSO_4 что соответствует +11,8 и +17,2 % к фону). Качество зерна улучшалось по всем ключевым показателям. Эффект сохранялся в годы с контрастным влагообеспечением, включая засушливый 2024 год. Полученные результаты подтверждают высокую агрономическую эффективность листового внесения MgSO_4 (оптимально 30 кг/га) как инструмента стабилизации продуктивности и улучшения технологических свойств зерна овса на дерново-подзолистых почвах.

Ключевые слова: овёс, *Avena sativa* L., сульфат магния, листовая подкормка, дерново-подзолистые почвы, урожайность, белок, крахмал, масса 1000 зёрен, натура зерна

**FOLIAR APPLICATION OF MAGNESIUM SULFATE
AS AN EFFECTIVE APPROACH TO IMPROVING
OAT GRAIN YIELD AND QUALITY
ON SOD-PODZOLIC SOILS**

P.Y. Panova

Abstract. A three-year field study evaluated the effectiveness of foliar magnesium sulfate (MgSO_4) application for increasing grain yield and improving grain quality of oat (cv. Nemchinovsky 61) on sod-podzolic soils. Treatments were applied at the end of the tillering stage. MgSO_4 application significantly increased yield relative to both the untreated control and the NPK background. Averaged over three years, grain yield increased from 18.6 centners ha^{-1} (NPK) to 20.8 and 21.8 centners ha^{-1} with 15 and 30 kg ha^{-1} MgSO_4 , respectively (i.e., +11.8% and +17.2% vs. NPK). Grain quality improved across all key indicators. The positive effect persisted under contrasting hydrothermal conditions, including the drought in 2024. These results confirm the high agronomic efficiency of foliar MgSO_4 (optimal rate 30 kg ha^{-1}) as a tool for stabilizing productivity and enhancing the technological properties of oat grain on sod-podzolic soils.

Keywords: oat; *Avena sativa* L.; magnesium sulfate; foliar application; sod-podzolic soils; yield; protein; starch; thousand-kernel weight (TKW); test weight (hectolitre weight).

В последние десятилетия проблема продовольственной безопасности в России приобрела особую значимость в связи с ростом численности населения, а также изменениями в мировой политике и экономике. Обеспечение населения качественным продовольствием рассматривается как ключевой элемент национальной безопасности, определяющий сохранение государственного суверенитета и устойчивое развитие страны. Продовольственная безопасность тесно связана с социально-экономической политикой государства и выступает условием реализации стратегических приоритетов [1].

Зерновые культуры в Нечерноземной зоне России играют особую роль, так как здесь сложились благоприятные условия для их возделывания. Среди них выделяется овес, который отличается высокой устойчивостью к корневым гнилям, поражающим другие злаковые и бобовые культуры. Включение овса в севообороты снижает фитосанитарную нагрузку и улучшает состояние последующих посевов, за что его часто называют «санитаром полей» [2].

Овес является одной из основных зерновых культур, так как его зерно служит ценным сырьем для производства круп, овсяных хлопьев и муки, поэтому качество зерна овса имеет большое значение. Агротехнические методы, такие как соблюдение севооборотов, выбор подходящих предшественников, оптимальные нормы высева, а также применение регуляторов роста и химических средств защиты, способствуют его улучшению. Однако наибольшее влияние на качество сельскохозяйственных культур оказывают минеральные удобрения. Они не только увеличивают урожайность, но и изменяют содержание в растениях важных для человека и животных питательных веществ, а также способствуют накоплению белков, сахаров, жиров, крахмала и других компонентов. Одним из таких удобрений является сульфат магния [3].

Магний участвует во множестве физиологических процессов, включая фотосинтез, ферментативные реакции и синтез белка, что напрямую отражается на урожайности и качестве зерна. Белковые вещества составляют свыше 90 % азота, содержащегося в зерне овса. Важным фактором их синтеза является также серный обмен. Сера входит в состав ряда аминокислот (цистеина, цистина и метионина) и обеспечивает образование SH-групп и дисульфидных связей, которые стабилизируют пространственную структуру белков и участвуют во взаимодействии с коферментами. Недостаток серы в почве снижает усвоение азота растениями, что негативно сказывается на формировании урожая [4–8].

Содержание обменного магния особенно низкое в кислых подзолистых и дерново-подзолистых почвах, а также в торфяниках и краснозёмах. Недостаток серы тоже широко распространён — к слабообеспеченным этим элементом относят порядка четверти всех сельскохозяйственных земель России.

Применение сульфата магния даже в небольших дозах позволяет значительно повысить урожаи сельскохозяйственных культур.

На зерновых культурах содержание магния в растениях уменьшается в фазу начала выхода в трубку из-за быстрого вытяжения главного побега и побегов кущения. Быстро исправить

ситуацию можно только с помощью листовых подкормок, так как степень и скорость его усвоения через листья значительно выше. Особенно актуален данный способ внесения удобрений в условиях засухи, так как через листовую пластину он быстрее проникает в растения, чем через корневую систему при недостатке влаги.

Таким образом, внесение сульфата магния в виде листовой подкормки является эффективным способом повышения урожайности овса на дерново-подзолистых почвах. Данные почвы часто характеризуются недостатком доступного магния, что негативно сказывается на росте и развитии растений. Листовое питание позволяет быстро восполнить дефицит магния, улучшить фотосинтез и обмен веществ в растениях, что ведет к увеличению продуктивности овса и улучшению качества зерна.

Методика и условия проведения исследований. Полевые исследования по влиянию сульфата магния на урожайность и качество зерна овса были проведены в 2023 и 2024 годах в Глинковском районе Смоленской области, на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах (таблицы 1, 2).

Сульфат магния в виде листовых подкормок вносили в двух дозах: 15 и 30 кг/га, обрабатывая вегетирующие растения в фазе кущения.

Схема опыта:

- 1. Контроль (без удобрений и обработок)
- 2. Фон (N45P45K45)
- 3. Фон + 15 кг/га MgSO₄
- 4. Фон + 30 кг/га MgSO₄

В среднем за годы исследований (2022–2024 гг.) гидротермические условия вегетации овса характеризовались показателем ГТК 1,74, что несколько выше многолетнего уровня (1,63). Однако внутри периода отмечалась высокая контрастность: умеренно благоприятные условия 2022 года, переувлажнение 2023 года и выраженная засуха 2024 года. Эти различия определяли уровень влагообеспеченности растений и, соответственно, существенно влияли на формирование урожайности и качества зерна.

Таблица 1 — Агротехника опыта

	2022 год	2023 год	2024 год
Сорт	Немчиновский 61		
Предшественник	картофель	картофель	картофель
Дата посева	05.05	29.04	07.05
Дата обработки	17.06	10.06	13.06
Дата уборки урожая	13.08	04.08	01.08
Фаза развития овса в момент обработки	конец кущения	конец кущения	конец кущения
Площадь опытной деланки	25	25	25
Учетная площадь	20	20	20
Расположение	систематическое		

Таблица 2 — Гидротермический коэффициент Селянинова, 2022–2024 гг.

Год исследования	Вегетационный период			В среднем за вегетационный период
	май	июнь	июль	
2022	2,29	1,42	2,19	1,97
2023	1,65	3,85	1,62	2,38
2024	0,79	0,90	0,94	0,87
Средний	1,58	2,06	1,58	1,74
Среднемноголетний	1,55	1,68	1,66	1,63

Результаты исследований

В вариантах с применением сульфата магния получены достоверные прибавки урожая зерна в сравнении как с контрольным вариантом, так и с фоновым (таблица 3). Общее снижение урожайности в 2024 году обусловлено неблагоприятными погодными условиями, а именно засухой (таблица 2).

Таблица 3 — Урожайность овса по вариантам опыта в годы проведения исследования

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Средняя прибавка урожая	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	в среднем	ц/га	% к контролю
Контроль	13,8	16,3	12,9	14,3	-	-
Фон	18,7	21,5	15,7	18,6	4,3	30,0
Фон + 15 кг/га MgSO ₄	21,1	23,1	18,2	20,8	6,5	45,5
Фон + 30 кг/га MgSO ₄	22,1	23,8	19,4	21,8	7,5	52,3
НСР ₀₅	0,96	0,7	0,72			

Внесение сульфата магния в виде листовой подкормки существенно повышало урожайность овса на дерново-подзолистых почвах. В сравнении с фоновым внесением NPK применение 15 кг/га MgSO₄ обеспечило увеличение урожайности на 2,2 ц/га (15,5%), а 30 кг/га MgSO₄ — на 3,2 ц/га (22,3%). По сравнению с контролем прибавка составила 45,5...52,3%.

Также установлено положительное влияние листовой подкормки сульфатом магния на качество зерна овса сорта Немчиновский 61 (таблица 4) не зависимо от климатических особенностей вегетационного периода.

В 2022 году (ГТК = 1,97) на фоне NPK (12,2 % белка, 55,0 % крахмала, 31,8 г масса 1000 зёрен, 468 г/л натура) внесение 15 кг/га MgSO₄ увеличило показатели качества: белок — до 12,9 %, крахмал — до 56,0 %, масса 1000 зёрен — до 33,0 г, натура — до 478 г/л. При дозе 30 кг/га значения стали ещё выше (белок — 13,3 %, крахмал — 56,5 %, масса — 33,8 г, натура — 484 г/л). Это подтверждает, что в условиях умеренного увлажнения сульфат магния эффективно повышал как питательную ценность, так и выполненность зерна.

Таблица 4 — Качество зерна овса сорта «Немчиновский 61»

Вариант опыта	Белок, %			Крахмал, %			Масса 1000 зёрен, г			Натура зерна, г/л		
	2022 2023 2024			2022 2023 2024			2022 2023 2024			2022 2023 2024		
	ср			ср			ср			ср		
Контроль	11,4	11,6	11,8	11,6	54,0	54,5	30,0	28,5	29,8	455	445	455
Фон (N45P45K45)	12,2	12,4	12,6	12,4	55,0	55,5	31,8	30,5	31,6	468	474	467
Фон + MgSO ₄ (15 кг/га)	12,9	13,1	13,2	13,1	56,0	56,5	33,0	31,8	32,9	478	484	477
Фон + MgSO ₄ (30 кг/га)	13,3	13,5	13,6	13,5	56,5	57,0	33,8	32,5	33,6	484	490	483

Таблица 5 — Эффективность сульфата магния в зависимости от дозы внесения

Год	Доза MgSO ₄ , кг/га	Δ Белок, п.п.	Δ Крахмал, п.п.	Δ Масса 1000 зёрен, г	Δ Натура, г/л
2022	15	+0,7	+1,0	+1,2	+10
	30	+1,1	+1,5	+2,0	+16
2023	15	+0,7	+1,0	+1,3	+10
	30	+1,1	+1,5	+2,0	+16
2024	15	+0,6	+1,0	+1,3	+10
	30	+1,0	+1,5	+2,0	+16
среднее	15	+0,7	+1,0	+1,3	+10
	30	+1,1	+1,5	+2,0	+16

В 2023 году при высоком уровне влагообеспеченности (ГТК = 2,38) была получена максимальная урожайность. Качество зерна также улучшалось при листовой подкормке $MgSO_4$: содержание белка на фоне NPK составило 12,4 %, а при дозах 15 и 30 кг/га достигало 13,1 и 13,5 % соответственно. Крахмал увеличивался с 54,5 до 56,0–56,5 %, масса 1000 зёрен — с 32,5 до 33,8–34,5 г, натура — с 474 до 484–490 г/л. Следовательно, даже при избыточной влаге магний способствовал росту качества зерна, сглаживая разбавляющий эффект высокой урожайности.

В условиях дефицита влаги 2024 года (ГТК=0,87) показатели качества были наименьшими, однако положительное действие магния сохранялось. На фоне NPK белок составил 12,6 %, крахмал — 55,5 %, масса 1000 зёрен — 30,5 г, натура — 460 г/л. При внесении 15 кг/га $MgSO_4$ содержание белка повысилось до 13,2 %, крахмала — до 56,5 %, масса 1000 зёрен — до 31,8 г, натура — до 470 г/л. При дозе 30 кг/га получены лучшие результаты (белок — 13,6 %, крахмал — 57,0 %, масса — 32,5 г, натура — 476 г/л). Особенно важно, что листовая подкормка оказалась эффективной именно в засушливых условиях, так как усвоение через листья происходило быстрее, чем через корни.

Таким образом, в разные по влагообеспеченности годы применение сульфата магния в виде листовой подкормки на фоне NPK способствовало стабильному увеличению содержания белка и крахмала в зерне, улучшало выполненность и плотность зерна. Наибольший эффект наблюдался при дозе 30 кг/га, что подтверждает высокую эффективность данного приёма для повышения урожайности и качества овса на дерново-подзолистых почвах. Причём в засушливом 2024 году именно листовое внесение магния сыграло решающую роль в сохранении качества зерна (табл. 5).

Выводы

1. Листовая подкормка $MgSO_4$ на фоне N45P45K45 обеспечила устойчивое и статистически достоверное повышение урожайности овса в 2022–2024 гг.; прирост к NPK составил +2,2 ц/га (11,8 %) при 15 кг/га и +3,2 ц/га (17,2 %) при 30 кг/га; к контролю — +6,5...7,5 ц/га (45,5...52,3 %).

2. Улучшение качества зерна было комплексным: относительно NPK содержание белка возросло на +0,7...+1,1 п.п., крахмала — на +1,0...+1,5 п.п., масса 1000 зёрен — на +1,3...+2,0 г, натура — на +10...+16 г/л (дозы 15 и 30 кг/га соответственно).

3. Эффект $MgSO_4$ проявлялся во все годы, независимо от гидротермических условий (ГТК 1,97; 2,38; 0,87), что указывает на адаптогенное действие листовой подкормки и её пригодность для стабилизации продуктивности в засуху и при переувлажнении.

4. Оптимальной по совокупности признаков является доза 30 кг/га $MgSO_4$ (обработка в конце фазы кущения): она обеспечила максимальные значения урожайности и наилучшие показатели выполненности и плотности зерна.

5. Для дерново-подзолистых почв, характеризующихся дефицитом доступного магния, листовое внесение $MgSO_4$ следует рассматривать как ключевой элемент технологической карты возделывания овса, повышающий как количество, так и качество продукции.

Список литературы

1. Сидорова Н. П. Продовольственная безопасность как фактор национальной безопасности России // Вестник Российской академии наук. — 2021. — Т. 91, № 3. — С. 320–329.
2. Лошаков В. Г. Научные основы зерновой специализации севооборотов в центральных областях Нечерноземной зоны России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2006. — № 4. — С. 3–20.
3. Лапа В. В., Босак В. Н. Применение удобрений и качество урожая / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. — Минск, 2006. — 120 с.
4. Аканова Н. И., Гаспарян И. Н., Панова П. Ю. Влияние совместного применения сульфата магния и диметоата на урожайность овса // Плодородие. — 2025. — № 3. — С. 16–20.
5. Аристархов А. Н. Агрохимия серы. — М., 2007. — 272 с.
6. Аристархов А. Н. Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // Плодородие. — 2002. — № 3. — С. 15–17.
7. Аканова Н. И., Козлова А. В., Мухина М. Т. Роль магния в системе питания растений // Агрохимический вестник. — 2021. — № 6. — С. 66–72.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И АЗОТОМ
В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ
СТАВРОПОЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

Е. В. Письменная, В. Н. Ситников

*Ставропольский государственный аграрный университет,
г. Ставрополь, pismennaya.elena@bk.ru; rector@mail.ru*

Аннотация. Исследование проводилось на базе учебно-опытного хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета с 2022 г. по 2024 г. Цель — изучить взаимосвязь вегетационных индексов с рядом показателей плодородия почвы и азотом в листьях растений озимой пшеницы на черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности. В ходе работы применялся неинвазивный и традиционный подход. Схема полевого опыта: контроль, Фон $N_{13}P_{60}$, Фон + N_{35} , Фон + N_{51} , Фон + N_{70} , Фон + N_{87} . Результаты исследования показали, что в фазу кушения весьма высокая связь между NO_3 в почве с PSSRa, PSSRb и mSR705, NH_4 — с PSSRa и PSSRb, содержания азота (%) в растениях — с PSSRa и PSSRb; в фазу выход в трубку NO_3 в почве с PSSRa, PSSRb и mSR705, NH_4 — с PSSRa, PSSRb и mSR705, содержания азота (%) в растениях — PSSRa, PSSRb и mSR705; в фазу колошения — NO_3 с mSR705, содержания азота (%) в растениях с PSSRa; в фазу полная спелость — обратная заметная связь NO_3 с PSSRb; NH_4 — с PSSRa и PSSRb, содержания азота (%) в растениях с PSSRa и PSSRb.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, озимая пшеница, нитратный азот, аммонийный азот, азот в листьях растений

**RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION INDICES AND SOIL
FERTILITY INDICATORS AND NITROGEN IN WINTER WHEAT
PLANTS LEAVES ON LEACHED CHERNOZEM
OF THE STAVROPOL UPLAND**

E. V. Pisennaya, V. N. Sitnikov

Annotation: the study was carried out on the basis of the educational and experimental farm of the Stavropol State Agrarian University from 2022 to 2024. The goal is to study the relationship of vegetation indices with a number of indicators of soil fertility and nitrogen in the leaves of winter wheat plants on leached chernozem of the Stavropol Upland. In the course of the work, a non-invasive and traditional approach was used. Field experience scheme: control, Background $N_{13}P_{60}$, Background + N_{35} , Background + N_{51} , Background + N_{70} , Background + N_{87} . The results of the study showed that in the thickening phase there is a very high between NO_3 in the soil with PSSRa, PSSRb and mSR705, NH_4 with PSSRa and PSSRb, nitrogen content (%) in plants with PSSRa and PSSRb; in phase, exit to the tube NO_3 in soil with PSSRa, PSSRb and mSR705, NH_4 with PSSRa, PSSRb and mSR705, nitrogen content (%) in plants — PSSRa, PSSRb and mSR705; NO_3 with mSR705, nitrogen content (%) in plants with PSSRa; in the full ripeness phase — a noticeable feedback of the NO_3 with PSSRb; NH_4 — with PSSRa and PSSRb, nitrogen content (%) in plants with PSSRa and PSSRb.

Keywords: leached chernozem, winter wheat, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, nitrogen in plant leaves

Озимая пшеница — одна из важнейших зерновых культур в России. В 2024 г. ее площадь составила 20 млн га, производство — более 43 млн тонн. Одним из ключевых элементов питания культуры является азот, который играет важную роль как в процессе фотосинтеза растений, так и влияет на рост и развитие озимой пшеницы.

Территория проведения опыта — учебно-опытное хозяйство Ставропольского аграрного университета. Климат — умеренно континентальный с неустойчивым увлажнением. Среднегодовое

количество осадков по многолетним данным составляет 551 мм. Сумма активных температур находится в пределах 3000–3200°C. ГТК — 1,1–1,3. Почва — чернозем выщелоченный. Содержание гумуса в слое 0–20 см почвы опытного участка составляло 5,4% (по Тюрину), подвижного фосфора и калия (по Мачигину) — соответственно 25 и 270 мг/кг, N-NO₃ –30 мг/кг, pH почвенного раствора — 6,5 ед. В опыте использовали сорт озимой пшеницы Алексеич.

На основе использования в научно-исследовательской работе теории фотосинтетической продуктивности растений и принципов оптимизации биофизических веществ, определяются вегетационные индексы (PSSRa, PSSRb, PSSRa/PSSRb, SIPI, mSR705, VOG1) [1–5] в фазы: кущение, выход в трубку, колошение и полная спелость. Получение цифровых показателей осуществлялось с помощью спектрорадиометра PolyPen RP 410 NIR (Чехия). Методика осуществления работы — на основе ассимиляции зарубежного опыта. Достоверность между индексами и NO₃ (мг/кг почвы), NH₄ (мг/кг почвы), азотом (%) в листьях растений озимой пшеницы по вариантам опыта (контроль, Фон N₁₃P₆₀, Фон + N₃₅, Фон + N₅₁, Фон + N₇₀, Фон + N₈₇) определялась в ПО Statistica 23.0.

В фазу кущения озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу VOG1 (0,094454), наименьшие — PSSRa (0,636780). Взаимосвязь вегетационных индексов, описывающих развитие растений озимой пшеницы с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы), представлена в таблице 1. Отмечена весьма высокая корреляция нитратного азота NO₃ со следующими индексами: PSSRa (0,92766949), PSSRb (0,9616953) и mSR705 (0,70197265).

Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы в фазу кущения, представлена в таблице 2. Отмечена весьма высокая корреляция аммонийного азота со следующими индексами: PSSRa (0,91015593), PSSRb (0,95911891).

Таблица 1 — Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы), фаза кущения

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)
PSSRa	1					
PSSRb	0,93880657	1				
SIPI	0,58753146	0,38575995	1			
mSR705	0,44331647	0,53810105	-0,20291996	1		
VOG1	0,55737254	0,51075704	0,49163996	-0,36794525	1	
Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)	0,92766949	0,9616953	0,35241056	0,70197265	0,35976200	1

Таблица 2 — Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ (мг/кг почвы), фаза кущения

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Аммонийного азота NH ₄ в посевах
PSSRa	1					
PSSRb	0,96789050	1				
SIPI	0,33673126	0,42366689	1			
mSR705	0,86698089	0,77776500	0,18648948	1		
VOG1	0,63564734	0,71383101	0,82888737	0,45677855	1	
Аммонийного азота NH ₄ в посевах	0,91015593	0,95911891	0,42956158	0,66621001	0,60214758	1

Взаимосвязь вегетационных индексов, описывающих развитие культуры с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы в фазу кущения, представлена в таблице 3. Отмечена весьма высокая корреляция содержания азота (%) в растениях озимой со следующими индексам: PSSRa (0,93972276), PSSRb (0,96476863).

В фазу выход в трубку озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу VOG1 (0,14945), наименьшие — PSSRa (0,02030773). Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы) представлена в таблице 4. Отмечена весьма высокая корреляция нитратного азота NO₃ со следующими индексам: PSSRa (0,93724), PSSRb (0,986616) и mSR705 (0,706938).

Взаимосвязь вегетационных индексов, описывающих развитие растений озимой пшеницы с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы, в фазу выход в трубку, представлена в таблице 5. Отмечена весьма высокая корреляция аммонийного азота со следующими индексам: PSSRa (0,88131378), PSSRb (0,94225861) и mSR705 (0,70059669).

Взаимосвязь вегетационных индексов, описывающих развитие растений озимой пшеницы с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы в фазу выход в трубку, представлена в таблице 6. Отмечена весьма высокая корреляция содержания азота (%) в растениях со следующими индексам: PSSRa (0,910775), PSSRb (0,93126) и mSR705 (0,735655).

В фазу колошения озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу mSR705 (0,255897), наименьшие — PSSRa (0,029208). Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы) в фазу колошения представлена в таблице 7. Отмечена весьма высокая корреляция нитратного азота NO₃ со следующим индексом: mSR705 (0,763729).

Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы в фазу колошения представлена в таблице 8. Отмечена заметная корреляция аммонийного азота со следующими индексам: PSSRa (0,646517), PSSRb (0,616629) и mSR705 (0,649939).

Таблица 3 — Взаимосвязь вегетационных индексов с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы, фаза кущения

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Содержание азота (%) в раст. оз. пш.
PSSRa	1					
PSSRb	0,96789050	1				
SIPI	0,33673126	0,42366689	1			
mSR705	0,86698089	0,77776500	0,18648948	1		
VOG1	0,63564734	0,71383101	0,82888737	0,45677855	1	
Содерж. азота (%) в раст. озим. пш.	0,93972276	0,96476863	0,28794269	0,69455043	0,54582528	1

Таблица 4 — Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы), фаза выход в трубку

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)
PSSRa	1					
PSSRb	0,967891	1				
SIPI	0,336731	0,423667	1			
mSR705	0,866981	0,777765	0,186489	1		
VOG1	0,635647	0,713831	0,828887	0,456779	1	
Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)	0,93724	0,986616	0,336315	0,706938	0,634072	1

Таблица 5 — Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы, фаза выход в трубку

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Аммонийного азота NH ₄ в посевах
PSSRa	1					
PSSRb	0,96789050	1				
SIPI	0,33673126	0,42366689	1			
mSR705	0,86698089	0,77776500	0,18648948	1		
VOG1	0,63564734	0,71383101	0,828887371	0,45677855	1	
Аммонийного азота NH ₄ в посевах	0,88131378	0,94225861	0,22871329	0,70059669	0,49566483	1

Таблица 6 — Взаимосвязь вегетационных индексов с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы, фаза выход в трубку

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Содержание азота (%) в раст. оз. пш.
PSSRa	1					
PSSRb	0,967891	1				
SIPI	0,336731	0,423667	1			
mSR705	0,866981	0,777765	0,186489	1		
VOG1	0,635647	0,713831	0,828887	0,456779	1	
Содерж. азота (%) в раст. озим. пш.	0,910775	0,93126	0,083617	0,735655	0,431777	1

Таблица 7 — Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы), фаза колошение

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)
PSSRa	1					
PSSRb	0,898598	1				
SIPI	0,496755	0,28608	1			
mSR705	0,782175	0,935016	0,410191	1		
VOG1	0,701629	0,603611	0,904174	0,673318	1	
Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)	0,521226	0,691728	0,365488	0,763729	0,514331	1

Таблица 8 — Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы, фаза колошение

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Аммонийного азота NH ₄ в посевах
PSSRa	1					
PSSRb	0,898598	1				
SIPI	0,496755	0,28608	1			
mSR705	0,782175	0,935016	0,410191	1		
VOG1	0,701629	0,603611	0,904174	0,673318	1	
Аммонийного азота NH ₄ в посевах	0,646517	0,616629	0,557384	0,649939	0,569869	1

Взаимосвязь вегетационных индексов, описывающих развитие растений озимой пшеницы с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы в фазу колошения, представлена в таблице 9. Отмечена весьма высокая корреляция аммонийного азота со следующим индексом: PSSRa (0,731707).

В фазу полная спелость озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу SIPI (14,78725), наименьшие — VOG1 (0,001598).

Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы) в фазу полная спелость представлена в таблице 10. Отмечена прямая корреляция нитратного азота NO₃ не определяется, обратная заметная — со следующим индексом: PSSRb (–0,66746).

Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH₄ в посевах озимой пшеницы в фазу полная спелость представлена в таблице 11. Отмечена обратная высокая корреляция аммонийного азота со следующими индексам: PSSRa (–0,717140265), PSSRb (–0,77398398).

Взаимосвязь вегетационных индексов с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы в фазу полная спелость представлена в таблице 12. Отмечена обратная весьма высокая корреляция содержания азота (%) в растениях со следующими индексами: PSSRa (–0,73960789) и PSSRb (–0,76581985). Следовательно, с нарастанием засушливых погодных явлений (и почвенной засухи), заканчивается выполнение генеративных функций в организме растений озимой пшеницы, что отражается в отсутствии прямой корреляции в системе «почва — растение».

На основе исследования выявлено:

1. В фазу кущения озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу VOG1, наименьшие — PSSRa. Весьма высокая корреляция нитратного азота NO₃ в почве с PSSRa, PSSRb и mSR705, аммонийного азота с PSSRa и PSSRb, содержания азота (%) в растениях с PSSRa и PSSRb.

Таблица 9 — Взаимосвязь вегетационных индексов с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы, фаза колошение

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Содержание азота (%) в раст. оз. пш.
PSSRa	1					
PSSRb	0,898598	1				
SIPI	0,496755	0,28608	1			
mSR705	0,782175	0,935016	0,410191	1		
VOG1	0,701629	0,603611	0,904174	0,673318	1	
Содерж. азота (%) в раст. оз. пш.	0,731707	0,684027	0,472941	0,662093	0,516013	1

Таблица 10 — Взаимосвязь вегетационных индексов с нитратным азотом NO₃ (мг/кг почвы), фаза полная спелость

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)
PSSRa	1					
PSSRb	0,98942	1				
SIPI	2,29E-05	0,029849	1			
mSR705	0,487419	0,458004	–0,8341	1		
VOG1	0,700078	0,67192	–0,70805	0,95556	1	
Нитратный азот NO ₃ (мг/кг почвы)	–0,58909	–0,66746	–0,5472	0,168716	–0,02234	1

Таблица 11 — Взаимосвязь вегетационных индексов с аммонийным азотом NH_4 в посевах озимой пшеницы, фаза полная спелость

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Аммонийного азота NH_4 в посевах
PSSRa	1					
PSSRb	0,98941986	1				
SIPI	2,28566E-05	0,029848605	1			
mSR705	0,487418781	0,458003988	-0,834100701	1		
VOG1	0,700077864	0,671920117	-0,708053421	0,95555975	1	
Аммонийного азота NH_4 в посевах	0,717140265	-0,77398398	-0,590288044	0,126182237	0,08885255	1

Таблица 12 — Взаимосвязь вегетационных индексов с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы, фаза полная спелость

	PSSRa	PSSRb	SIPI	mSR705	VOG1	Содержание азота (%) в раст. оз. пш.
PSSRa	1					
PSSRb	0,989419866	1				
SIPI	2,28566E-05	0,029848605	1			
mSR705	0,487418781	0,458003988	-0,834100701	1		
VOG1	0,700077864	0,671920117	-0,70805342	0,95555975	1	
Содерж. азота (%) в раст. озим. пш.	-0,73960789	-0,76581985	-0,58831921	0,083501352	-0,1156062	1

2. В фазу выход в трубку озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу VOG1, наименьшие — PSSRa. Весьма высокая корреляция нитратного азота NO_3 в почве с PSSRa, PSSRb и mSR705, аммонийного азота с PSSRa, PSSRb и mSR705, содержания азота (%) в растениях PSSRa, PSSRb и mSR705.

3. В фазу колошения озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу mSR705, наименьшие — PSSRa. Весьма высокая корреляция нитратного азота NO_3 в почве с mSR705. Отмечена заметная корреляция аммонийного азота с PSSRa, PSSRb и mSR705. Весьма высокая корреляция содержания азота (%) в растениях с PSSRa.

4. В фазу полная спелость озимой пшеницы по всем вариантам наибольшие межгрупповые отклонения от среднего значения в развитии растений отмечены по индексу SIPI, наименьшие — VOG1. С нарастанием засушливых погодных явлений и активизацией репродуктивных функций в организме растений прямая корреляция в системе «почва — растение» не определяется. Обратная заметная связь — нитратного азота NO_3 с PSSRb. Обратная высокая корреляция аммонийного азота с PSSRa и PSSRb. Обратная весьма высокая корреляция содержания азота (%) в растениях с PSSRa и PSSRb.

Список литературы

1. Rajesh K. Dhumal, Amol D. Vibhute, Ajay D. Nagne, Yogesh D. Rajendra, Karbhari V. Kale and Suresh C. Mehrotra. Advances in Classification of Crops using Remote Sensing Data / Cloud Publications, International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, Volume 4, Issue 1, Article ID Tech483 ISSN 2320 — 0243, pp.1410-1418, 2015.
2. Amarsinh B. Varpe, Yogesh D. Rajendra, Amol D. Vibhute, Sandeep V. Gaikwad, K.V. Kale. Identification of plant species using non-imaging hyperspectral data / Man and Machine Interfacing, International Conference, IEEE, pp.1–4, 2015.
3. Ruiliang Pu, Peng Gong and Qian Yu. Comparative Analysis of EO-1 ALI and Hyperion, and Landsat ETM+Data for Mapping Forest Crown

Closure and Leaf Area Index / MDPI 6 June 2008. 8(6), 3744–3766. doi.org/10.3390/s8063744.

4. Sims D.A., Gamon J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages/ Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2–3): 337–354.).
5. Vogelmann, JE, Rock, BN и Moss, DM 1993. Measurements of the red edge spectrum of sugar maple leaves. International Journal of Remote Sensing, 14 (8), стр. 1563–1575. doi: 10.1080/01431169308953986).

УДК 631.8: 633. 11: 631.445

**ПАРАМЕТРЫ ПОСТУПЛЕНИЯ ^{137}CS И ^{90}SR
В МНОГОЛЕТНИЕ БОБОВО-ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ
НА ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

А. Г. Подоляк, Т. Ф. Персикова

¹КУП «Гомельская ОПИСХ», г. Гомель, alexpodolyak@tut.by

²УО «БГСХА», г. Горки, persikova52@rambler.ru

Аннотация: в статье рассматривается система применения удобрений на торфяной почве, способствующей максимальной продуктивности многолетних злаково-бобовых трав, а также зоотехническому качеству кормов и минимальному накоплению в них радионуклидов. Установлено, что при залужении злаково-бобовыми травами сенокосов на низинных торфяно-болотных почвах с низким содержанием фосфора, калия и загрязненных радионуклидами, наиболее эффективно вносить минеральные удобрения в дозах: азотные — 60 кг/га д.в., фосфорные — 60–90 кг/га д.в., калийные — 180–240 кг д.в. и медные — 50 г/га д.в.

Ключевые слова: торфяные почвы, дозы удобрений, многолетние бобово-злаковые травы, урожайность, качество кормов, радионуклиды

**VARIANCE OF ^{137}CS AND ^{90}SR ACCUMULATION
IN PERENNIAL GRASSES AND ZOOTECHNICAL QUALITY
OF FORAGE DEPENDING ON DIFFERENT APPLICATION RATES
OF FERTILIZERS ON PEAT SOILS**

A.G. Podolyak, T.P. Persikova

Annotation: the paper addresses the advantageous system of fertilizer application on peat soils contributing to the highest yields of perennial grasses, improved zootechnical quality of forages and the lowest accumulations of radionuclides in them. The study has estab-

lished the most effective application rates of mineral fertilizers for growing perennial grasses on hayfields in contaminated lowland peat bogs short in phosphorus and potassium, e.g. nitrogen 60 kg N/ha, phosphorus 60-90 kg P/ha, potassium 180-240 kg K/ha, and copper 50 g Cu/ha.

Keywords: peat soils, application rates, perennial grasses, yields, quality of forages, radionuclides

В настоящее время сельскохозяйственное производство на загрязненных радионуклидами землях Республики Беларусь ведется на площади около 1 млн га с плотностью загрязнения ^{137}Cs от 37 до 1480 кБк/м² (1 — 40 Ки/км²), в том числе — 0,32 млн га одновременно загрязнено ^{90}Sr с плотностью от 5,5 до 111 кБк/м² (0,15–3,0 Ки/км²) в соответствии с разработанными рекомендациями [1].

Реабилитация загрязненных территорий по радиационному фактору предполагает производство сельскохозяйственной продукции соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам и не превышение средней годовой эффективной дозы облучения населения 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона. В настоящее время свыше 50% коллективной дозы облучения населения республики обусловлено радионуклидами, содержащимися в продуктах питания. Не менее важным условием является также устойчивое самокупаемое производство продуктов питания и сельскохозяйственного сырья для перерабатывающей промышленности, без которых не могут быть обеспечены социально-экономические условия реабилитации. Реализация этих двух важнейших требований в большой мере зависит от уровня плодородия почв, используемых в сельскохозяйственном производстве пахотных и кормовых земель [1–4].

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС более 500 тыс. га торфяных почв республики подверглось загрязнению радионуклидами. При этом под пашней используется 236,3 тыс. га торфяных почв, что составляет только 5,2 % от общей площади пашни [5]. По данным института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси в настоящее время в республике используется 64,6 тыс. гектаров сенокосов и пастбищ на торфяных почвах с плотностью

загрязнения ^{137}Cs выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²). Эти проблемные земли преимущественно сосредоточены в Гомельской (66%), Могилевской (14%) и Брестской (14%) областях. Большая часть луговых земель на торфяных почвах в Гомельской области (61%) одновременно загрязнены и ^{90}Sr выше 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²). Луговые биогеоценозы на таких почвах относятся к радиоэкологическим структурам, в которых могут формироваться максимальные дозовые нагрузки. Это обусловлено как биологическими особенностями многолетних трав, так и высокой адсорбционной способностью органического вещества и емкостью катионного обмена торфяных почв. С увеличением доли торфяных почв в структуре сенокосов и пастбищ переход ^{137}Cs из почвы в молоко возрастает в несколько раз [1–3].

Выпавшие на поверхность почвы радионуклиды мигрируют как вглубь почвы, так и в горизонтальном направлении. Показана возможность значительного вторичного перераспределения радионуклидов с ветровой и водной эрозией. Установлено, что вторичное загрязнение многолетних трав за счет пылепереноса может достигать 8–13 % в год от корневого поступления радионуклидов, что, вместе с тем, не оказывает существенного влияния на качество корма [2].

На торфяных почвах ^{137}Cs имеет наиболее высокую биологическую доступность. Исследования показывают, что коэффициенты перехода для ^{137}Cs в основные сельскохозяйственные культуры с течением времени после катастрофы постепенно снижаются. Для ^{90}Sr , наоборот, наблюдается устойчивая тенденция к повышению перехода его из почвы в растения [4]. Однако основная доля растениеводческой продукции и кормов, не отвечающих требованиям РДУ, производится именно на почвах данного типа. Оптимальным содержанием для торфяных почв республики является содержание подвижных форм K_2O 400–800 мг/кг, а P_2O_5 — 600–1000, обменных форм CaO — 3600–4800, MgO — 450–900 мг/кг [5–7].

В этой связи постоянно проводится изучение характера и скорости миграционных процессов, определяющих поступление радионуклидов в культуры из различных типов почв в зависимости от уровня использования средств химизации. Применение

известковых и минеральных удобрений на таких почвах обеспечивает минимальное поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в корма и сохранение высокого уровня почвенного плодородия за счет оптимизации основных агрохимических свойств [5–10].

На торфяных почвах республики возделываются в основном кормовые культуры, которые хорошо отзываются на внесение минеральных удобрений, преимущественно калийных. В получении максимальной продуктивности животных большое значение имеет питательная ценность используемых кормов. Низкое качество травяных кормов, не соответствующих требованиям, является сдерживающим фактором повышения продуктивности общественного животноводства. Поэтому в районах республики, территория которых загрязнена радионуклидами, актуальной является разработка эффективных агрохимических мер, учитывающих особенности почв и уровни их загрязнение, для получения нормативно чистых и питательных кормов [4–6, 10, 15].

Цель работы — разработать систему применения удобрений на торфяной почве, способствующей максимальной продуктивности многолетних бобово-злаковых трав с оптимальными параметрами зоотехнического качества, а также минимальным накоплением в сене радионуклидов, соответствующих требованиям республиканских санитарно-гигиенических нормативов.

Для решения поставленной цели в СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области в 2008 году был заложен полевой опыт на низинной торфяной, маломощной (0,8 — 1,0 м), подстилаемой песком почве. Торф древесно-осоковый с зольностью $17,6 \pm 2,0 \%$, объемным весом почвы $0,28 \text{ г/см}^3$. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs — 369 кБк/м^2 (10 Ки/км^2), ^{90}Sr — $14,0 \text{ Бк/м}^2$ ($0,38 \text{ Ки/км}^2$). Средняя мощность эквивалентной дозы — $0,50 \text{ мкЗв/ч}$.

Агрохимические показатели пахотного слоя торфяной почвы имели следующие показатели: уровень pH_{KCl} — 5,38, содержание подвижного калия — 300 мг/кг и фосфора — 202 мг/кг , обменного кальция и магния — 13495 и 524 мг/кг соответственно, сумма поглощенных оснований — $93,7 \text{ ммоль/100 г}$, содержание подвижной меди — $7,4 \text{ мг/кг}$.

В опыте с многолетними бобово-злаковыми травами, возделываемыми на торфяной почве, на протяжении 3 лет проводилось изучение накопления в них ^{137}Cs и ^{90}Sr на фоне без известкования и с известкованием (3 т/га CaCO_3 в форме доломитовой муки) при различных уровнях доз внесения и соотношения NPK в минеральных удобрениях. Минимальные дозы удобрений под травы составляли $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{120} \text{ кг/га д.в.}$. В опыте испытывали различные дозы азота ($30, 60, 90 \text{ кг/га д.в.}$), а также определялась эффективность различных доз фосфора (60 и 90 кг/га д.в.) и калия ($120, 180$ и 240 кг/га д.в.) в различных сочетаниях. В качестве медного удобрения использовали медь сернокислую в дозе 50 г/га д.в. (200 г/га в пересчете на сульфат меди), которую вносили при некорневой подкормке в фазе выхода в трубку злаковых трав с различными дозами азотных фосфорных и калийных удобрений. Азотные удобрения — сульфат аммония, фосфорные — суперфосфат аммонизированный, калийные — калий хлористый, известковые — доломитовую муку в год закладки опыта вносились в полной дозе в соответствии со схемой опыта (таблица 1). Во второй год пользования фосфорные удобрения вносили в полной дозе под первый укос, а азотные и калийные удобрения — 75% под первый укос и 25% под второй укос. Общая площадь делянки 18 м^2 , учетная — 10 м^2 . Повторность в опыте — четырехкратная. Агрохимические показатели почвы определены по общепринятым методикам: обменная кислотность pH_{KCl} — потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207–91); обменные кальций и магний — на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487–85); зольность торфяного горизонта — (ГОСТ 27784–88).

Измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных и почвенных образцах проводили в соответствии с методами испытаний МИ 2143–91 «Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре». Для измерений использовался γ -спектрометрический комплекс «Canberra-GX 3020» (США). Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15% . Удельную активность ^{90}Sr

определяли радиохимическим методом по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на γ - β -спектрометре «Прогресс БГ».

Питательная ценность сена трав оценивалась по ГОСТ 4808–87, согласно которому содержание сырого протеина в сухом веществе должно составлять не менее 8 — 10 %, клетчатки не более 28 — 30 %, калия 1,2 — 2,5 %, а отношение катионов $K/(Ca+Mg)$ — 2,2 — 2,4.

Полученные данные подвергали статистической обработке методом дисперсионного и регрессионного анализа с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

На основании полученных в опыте результатов установлено, что внесение минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{60}K_{120}$ кг/га д.в. обеспечило прирост урожайности сена бобово-злаковых трав по сумме двух укосов практически в два раза (на 43,7 ц/га) по сравнению с контролем. Применение меди в некорневую подкормку в фазе выхода в трубку (50 г/га д.в.) на фоне минеральных удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ кг/га д.в. способствовало повышению прибавки урожайности сена в среднем на 5,7 ц/га (до 49,4 ц/га) (таблица 1).

Для торфяных почв оптимальным уровнем кислотности, который обеспечивает максимальную урожайность культур, принято считать pH 5,0 — 5,3, а известкованию подлежат кислые торфяные почвы с pH менее 5,0. Поэтому внесение при залужении в торфяную почву с pH 5,38 доломитовой муки в дозе 3,0 т/га $CaCO_3$ в нашем случае не оказало положительного влияния на рост продуктивности злаковых трав [2–6, 16].

Увеличение дозы азота с 30 до 60 кг/га д.в. повышало урожайность сена до 64,6 ц/га и обеспечивало дополнительное получение в среднем 15,2 ц/га сена при окупаемости 1 кг азота 50,6 кг сена. Дальнейшее повышение дозы азота с 60 до 90 кг/га д.в. увеличивало урожайность менее значительно — только на 4 ц/га и снижало окупаемость 1 кг азота в 4 раза — до 13,3 кг сена с каждого гектара. По этой причине считаем, что наиболее обоснованной дозой азота для внесения под многолетние бобово-злаковые травы на почве данного типа является 60 кг/га д.в. Исследования показали, что повышение дозы фосфора с 60 до 90 кг/га д.в. в варианте с минеральными удобрениями $N_{30}P_{90}K_{120}$ кг/га + н/п Cu не-

целесообразно, поскольку урожайность сена на фоне как без известкования, так и с известкованием возрастала незначительно — соответственно на 1,4 и 4,1 ц/га.

При возделывании на торфяных почвах для нормального роста и развития многолетних бобово-злаковых трав преимущественное значение имеет обеспеченность их условий питания калием. Так при и высоком уровне содержания в почве подвижных форм калия внесение калийных удобрений не дает прибавки урожая, а вот накопление калия в сухом веществе растений возрастает, что негативно сказывается на качестве получаемых кормов. Поэтому на сенокосах и пастбищах при внесении высоких доз калийных удобрений их применяют дробно, контролируя содержание калия в кормах, а также его соотношение с двухвалентными катионами кальция и магния $K/(Ca+Mg)$. Как показали исследования, на торфяных почвах оптимальным соотношением между фосфором и калием в питательном растворе для многолетних трав являются показатели от 1:1,5 до 1:2 [5–8, 10].

Установлено, что на низко обеспеченной подвижным калием торфяной почве (<300 мг/кг почвы) на фоне доз минеральных удобрений $N_{30}P_{60}$ кг/га д.в. + н/п Ca_{50} увеличение дозы калийного удобрения с 120 до 180 и 240 кг/га д.в. положительно сказывалось на росте трав, повышая урожайность сена соответственно на 11,4 и 24,0 ц/га и обеспечивая сравнительно одинаковую окупаемость 1 кг калия — 19 и 21 кг сена с каждого гектара. На более высоком фоне доз минеральных удобрений $N_{60}P_{90}$ кг/га д.в. + н/п Ca_{50} , по мере увеличения дозы калийного удобрения с 120 до 180 и 240 кг/га д.в. урожайность сена возрастала соответственно на 10,2 и 16,5 ц/га, обеспечивая более низкую окупаемость 1 кг калия — 17 и 13,8 кг сена с гектара. Установлено, что повышение дозы фосфора с 60 до 90 кг/га д.в. в варианте с минеральными удобрениями $N_{30}P_{90}K_{120}$ кг/га д.в. + н/п Ca_{50} нецелесообразно, поскольку урожайность сена на фоне как без известкования, так и с внесением доломитовой муки возрастала незначительно — только 1,4 и 4,1 ц/га с каждого гектара. Следовательно, полученные нами на бобово-злаковых травах результаты свидетельствуют о возможности применения на загрязненных торфяных почвах более низких доз азотных и калийных удобрений.

Таблица 1 — Урожайность сена* многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от вносимых доз и соотношения форм минеральных и известковых удобрений (в среднем за 2008–2010 годы исследований)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
Без удобрений – ФОН 1	47,2	–	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + 3,0 т/га CaCO ₃ – ФОН 2	49,5	2,3
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	90,9	43,7	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	91,5	44,3
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	96,6	49,4	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	99,9	52,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	111,8	64,6	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	104,7	57,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	115,8	68,6	N ₃₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	95,6	48,4
N ₃₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	98,0	50,8	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu ₅₀	112,2	65,0
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu ₅₀	108,0	60,8	N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀	110,9	63,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀	120,6	73,4	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	103,6	56,4
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	108,1	60,9	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ +Cu ₅₀	109,2	62,0
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ +Cu ₅₀	118,3	71,1	N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀	121,5	74,3
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀	124,6	77,4			
НСП _{0,95}	5,6		НСП _{0,95}	4,9	

* при 16% стандартной влажности

В отношении радионуклидов было установлено, что на загрязненной радионуклидами торфяной почве максимальная удельная активность ¹³⁷Cs в сене многолетних бобово-злаковых трав была в контроле и составляла 8706 Бк/кг. Самое минимальное значение активности в эксперименте (635 Бк/кг) наблюдалось в варианте с дозой внесения минеральных удобрений N₆₀P₉₀K₂₄₀ кг/га д.в. и некорневой подкормкой Cu в дозе 50 г/га д.в. Увеличение дозы азотных удобрений от 60 до 90 кг/га д.в. на фоне фосфорно-калийных удобрений усиливает накопление ¹³⁷Cs в сене в 1,2–1,4 раза (таблица 2).

Таблица 2 — Влияние минеральных удобрений на поступление ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в сено бобово-злаковой травосмеси на торфяной маломощной почве (в среднем за 2008–2010 годы исследований)

Вариант	*Кп ¹³⁷ Cs Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения ¹³⁷ Cs, раз	*Кп ⁹⁰ Sr Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения ⁹⁰ Sr, раз
Без удобрений	21,9±4,4	-	3,4±0,8	-
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	3,7±0,3	-	2,6±0,3	-
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	3,4±0,2	1,1	2,5±0,2	1,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	4,5±0,4	0,8	2,9±0,1	0,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	5,1±0,4	0,7	3,1±0,2	0,8
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀	2,1±0,3	1,8	2,0±0,1	1,3
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀	1,6±0,1	2,2	1,8±0,1	1,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀ +CaCO ₃	3,1±0,1	1,2	2,4±0,2	1,1
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀ +CaCO ₃	2,1±0,3	1,8	2,0±0,3	1,3
НСП _{0,95}	1,1		0,7	

* Кп–коэффициент перехода радионуклида

Применение удобрений также влияет на накопление ⁹⁰Sr в растениях. Средняя удельная активность накопления ⁹⁰Sr в растениях в эксперименте колебалась в пределах 28,0–46,4 Бк/кг. Максимальная кратность снижения концентрации радионуклида на единицу массы в результате применения полного минерального удобрения в дозе N₆₀P₉₀K₂₄₀ кг/га д.в. + н/п Cu₅₀ составила в 1,4 раза по сравнению с контрольным вариантом — N₃₀P₆₀K₁₂₀.

Проведение поддерживающего известкования в дозе 3 т/га CaCO₃ не оказало существенного влияния на снижение поступления ⁹⁰Sr в сено многолетних бобово-злаковых трав, так как Кп ⁹⁰Sr снизился незначительно с показателя 2,5 до 2,4 Бк/кг:кБк/м².

Таблица 3 — Зоотехнические показатели сена многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от системы применения удобрений (в среднем за 2008–2010 годы исследований)

Вариант	Сырые		К	Са	Mg	К / (Са+Mg)	Нитраты, мг/кг
	клетчатка	протеин					
Без удобрений	36,1	9,9	2,1	0,69	0,30	2,1	347
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	36,5	11,6	2,5	0,57	0,21	3,2	477
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₅₀	32,0	10,7	2,5	0,52	0,18	3,6	536
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + Cu ₅₀	30,2	11,1	2,6	0,75	0,33	2,4	651
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ + Cu ₅₀	33,3	11,8	2,6	0,64	0,35	2,6	865
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₅₀	34,4	14,7	2,5	0,67	0,24	2,7	1015
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₅₀ +CaCO ₃	30,4	12,5	2,7	0,64	0,27	3,0	855
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₅₀ +CaCO ₃	31,5	14,1	2,6	0,75	0,26	2,6	1095
НСР _{0,95}	1,5	0,62	0,2	0,04	0,02	-	130

Проведение поддерживающего известкования в дозе 3 т/га СаСО₃ не оказало существенного влияния на снижение поступления ⁹⁰Sr в сено многолетних бобово-злаковых трав, так как Кп ⁹⁰Sr снизился с показателя 2,5 до 2,0 Бк/кг:кБк/м² (максимально на 25%). Анализ значений коэффициентов перехода ⁹⁰Sr за время наблюдений показал, что накопление радионуклида травами в первый год пользования было выше, чем во второй. Установлено, что в двух укосах трав первого и второго года пользования минимальное накопление ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr биомассой бобово-злаковых трав происходило при внесении минеральных удобрений в дозах N₆₀P₉₀K₁₈₀–2₄₀ кг/га д.в. + н/п Cu₅₀.

Анализ результатов исследований показал, что содержание сырого протеина в сене трав по вариантам опыта изменялось в пределах 9,5 — 14,7 %, что в целом соответствовало оптимальным значениям [12–16]. Оптимальные показатели зоотехнического

качества сена были получены при дозе минеральных удобрений N₆₀P₉₀K₁₈₀ кг/га д.в. + н/п Cu₅₀, где содержание сырого протеина составило 10,3 %, сырой клетчатки 30,1 % и энергии 0,65 к.ед. в 1 кг сухого вещества (таблица 3). Содержание калия в сене трав находилось в оптимальном диапазоне (1,2–2,5%), при этом оптимальное соотношение катионов К/(Са+Mg) в большинстве случаев отклонялось от рекомендуемого 2,2–2,4 в сторону увеличения. Содержание нитратов в сене многолетних бобово-злаковых трав не превышало пределов допустимых концентраций в корме для животных (ПДК 1000 мг/кг) в оптимальных вариантах при дозе азота 60 кг.д.в на гектар [7].

Заключение. Анализ трехлетних результатов экспериментальных исследований показал, что наибольший радиоэкологический эффект по снижению накопления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr от применения защитных мероприятий на торфяных почвах дает внесение повышенных доз калийных удобрений на фоне сбалансированного азотного и фосфорного питания, с применением медных микроудобрений. Рекомендуется при залужении загрязненных радионуклидами кормовых угодий на торфяных почв с низким содержанием подвижных форм Р₂О₅ (менее 600 мг/кг) и К₂О (менее 400 мк/кг) с целью получения высоких урожаев сена мнбобово-злаковых трав (120–130 ц/га) с оптимальными показателями зоотехнического качества кормов, целесообразно применять дозы минеральных удобрений на уровне N₆₀P₆₀₋₉₀K₁₈₀–2₄₀ кг/га д.в. и проводить некорневую подкормку медью под каждый укос в фазу выхода в трубку многолетних злаковых трав из расчета 50 г/га д.в. на гектар.

Список литературы

1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 гг. — Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2012 г. — 120 с.
2. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий загрязненных в результате крупных радиационных аварий: монография / Н. Н. Цыбулько, В.С. Аверин, А.Г. Подоляк [и др.]: под общ.

- ред. Н. Н. Цыбулько. — Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2011. — 438с.
3. Аверин, В. С. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции / В.С. Аверин, А.Г. Подоляк // Белорусское сельское хозяйство. — 2010. — № 4 (96). — С. 18–22.
 4. Подоляк, А. Г. Защитные агрохимические мероприятия в АПК Республики Беларусь/ А. Г. Подоляк, И. М. Богдевич, И. Д. Шмигельская //Агрохимический вестник. — 2006. — № 2 — С. 13–19.
 5. Подоляк, А. Г. Расчет доз минеральных удобрений для кормовых угодий, загрязненных радионуклидами / А. Г.Подоляк, И. М. Богдевич [и др.] //Агрохимический вестник. — 2006. — № 2 — С. 21–23.
 6. Сычев, В. Г. Влияние калийных удобрений на содержание цезия-137 в зеленой массе природных кормовых угодий при поверхностном улучшении / В.Г.Сычѳв, Н.М.Белоус, Е.В.Смольский // Плодородие. — 2012. —№ 1. —С. 2–4.
 7. Смольский, Е. В. Ведение лугового кормопроизводства в Российской Федерации и Республики Беларусь при радиоактивном загрязнении территорий / Е. В. Смольский, А. Г. Подоляк [и др.] // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. — 2015. — № 11. — С. 30–34.
 8. Подоляк, А. Г. Повышаем качество трав на загрязненных радионуклидами торфяных почвах / А. Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, Т. В. Ласько // Наше сельское хозяйство. — 2015. — № 21. — С. 60–63.
 9. Подоляк А. Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях/ А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко. — Мозырь: МГПУ им. И. П. Шамякина, 2017. — 242 с.
 10. Подоляк А. Г. Повышаем качество трав на загрязненных радионуклидами торфяных почвах / А. Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, Т. В. Ласько // Наше сельское хозяйство. — 2015. — № 21. — С. 60–63.
 11. Белоус Н. М. Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС / Н. М. Белоус, А. Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, Е.В. Смольский// Радиационная биология. Радиоэкология, 2016, том 56, № 4. — С. 405–413.
 12. Радиологические аспекты применения минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях / Н. М. Белоус, А. Г. Подоляк, Е. В. Смольский, А. Ф. Карпенко // Агрохимический вестник. Сер. хим. наук. — 2016. — № 2. — С. 10–14.
 13. Подоляк А. Г. Параметры поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы и зоотехнические показатели качества кормов в зависимости от доз внесения удобрений на торфяной почве / А.Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, Т. В. Ласько, Тагай С. А. // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. Вып. 19. — В 2-частях. — Ч. 2. — Горки, 2016. — С. 185–193.
 14. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы // Н. Н. Цыбулько и [и др.]. Национальная академия Наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Институт почвоведения и агрохимии. — Минск: ИВЦ Минфина, 2021. — 144 с.
 15. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. Национальная академия Наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. — Минск: ИВЦ Минфина, 2021. — 148с.
 16. Подоляк А. Г., Персикова Т. Ф. К вопросу возврата в хозяйственное использование земель, выведенных из оборота по радиационному фактору. Плодородие почв - основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда общества почвоведов и агрохимиков, Минск 21 июля 2022 г. / Институт почвоведения и агрохимии; редкол.: Ю. К. Шашако [и др.] . — Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. — С.236–240.

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ПИТАНИЯ
НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ИНСЕКТИЦИДНОЙ ЗАЩИТЫ
МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ**

А. С. Поликарпов

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, Учебно-Научный
Консультационный Центр «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов»
(г. Москва, Россия), antonpolikarpov@list.ru*

Аннотация. В работе приведены результаты исследований по совершенствованию инсектицидной защиты ярового рапса с учётом системы микроэлементного питания на дерново-подзолистых почвах. Проанализировано действие совместного применения инсектицидного препарата с микроэлементами (бор и молибден) на динамику остаточных количеств действующих веществ и общую эффективность защиты растений. Установлено, что включение микроэлементов в баковую смесь с инсектицидом способствует более продолжительному сохранению его остаточных количеств в растениях на протяжении вегетации. Это обеспечивает повышение устойчивости рапса к повреждению вредителями и пролонгирует защитное действие без отрицательного влияния на качество и безопасность продукции. Полевые испытания проведены на сорте ярового рапса «Викрос» в условиях Калужской области, где выявлена зависимость эффективности инсектицидной защиты от вариантов применения микроэлементов.

Ключевые слова: рапс, инсектицид, микроэлементы, бор, молибден

**INFLUENCE OF THE MICROELEMENT NUTRITION SYSTEM
ON THE EFFECTIVENESS OF INSECTICIDE PROTECTION OF
OILSEED CROPS UNDER SOD-PODZOLIC SOIL CONDITIONS**

A. S. Polikarpov

Annotation. The study presents the results of research on improving insecticide protection of spring rapeseed, taking into account the microelement nutrition system on sod-podzolic soils. The effect of combined application of the insecticide with microelements (boron and molybdenum) on the dynamics of residual amounts of active substances and the overall effectiveness of plant protection was analyzed. It was established that the inclusion of microelements in a tank mixture with the insecticide contributes to a longer preservation of its residual amounts in plants during the growing season. This ensures increased resistance of rapeseed to pest damage and prolongs the protective effect without negative impact on product quality and safety. Field trials were carried out on the spring rapeseed variety «Vikros» in the Kaluga region under sod-podzolic soil conditions, and the dependence of insecticide protection effectiveness on the schemes of microelement application was revealed.

Keywords: rapeseed, insecticide, micronutrients, boron, molybdenum

Введение. Яровой рапс (*Brassica napus*) по праву занимает одно из ведущих мест среди масличных культур умеренной климатической зоны, совмещая высокую агрономическую, кормовую и биохимическую ценность [4, 10]. В условиях современной агроэкосистемы он выступает не только источником высококачественного масла (до 50% в семенах), но и полноценного белка (до 30%), незаменимого в системах животноводства, что определяет его стратегическое значение в обеспечении продовольственной и энергетической безопасности [7, 9]. Культуры семейства капустных, к которым относится рапс, характеризуются высокой чувствительностью к обеспеченности бором — микроэлементом, играющим ключевую роль в формировании генеративных органов, оплодотворении, развитии точек роста и структурировании клеточной стенки [3, 12]. Потребность рапса в боре существенно превосходит аналогичные показатели у зерновых культур [1]. Не менее важен и молибден, участвующий в ключевых процессах азотного обмена, включая превращение нитратов в аммиак и синтез аминокислот, а также способствующий лучшему усвоению фосфора [2, 11].

В современных условиях, характеризующихся усилением биотического давления со стороны вредителей, повышение эффективности защитных мероприятий приобретает особую актуальность. Потери урожая рапса вследствие фитофагов могут достигать 30–35%, а при эпифитотиях — превышать 60%, что в сочетании с потерями при хранении требует разработки комплексных стратегий защиты растений [5, 8].

Одним из перспективных направлений является интеграция микроэлементного питания с химическими средствами защиты растений. Такой подход позволяет не только пролонгировать действие инсектицидов и повысить устойчивость посевов к вредителям [14, 17, 16], но и способствует оптимальному физиологическому состоянию растений, обеспечивая тем самым рост продуктивности без ущерба для экологической устойчивости агроценозов [15, 18, 19]. Кроме того, совмещение инсектицидной обработки с внекорневым внесением микроэлементов в рамках одного технологического приёма позволяет оптимизировать затраты на проведение защитных мероприятий, снизить операционные издержки и трудоёмкость, что в совокупности способствует повышению экономической эффективности агротехнологии [6, 13].

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являлись растения рапса ярового (*Brassica napus*) сорта «Викрос», возделываемые на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Калужской области. Почва опытного участка среднесуглинистая, слабокислая ($pH = 5,7$), с содержанием гумуса 2,1 %, P_2O_5 — 190 мг/кг, K_2O — 120 мг/кг, обеспеченность микроэлементами (В, Мо) — средняя и ниже средней (подвижного бора — 0,15–0,22 мг/кг, мобильного молибдена — менее 0,05 мг/кг). Климат региона — умеренно-континентальный с достаточным увлажнением, среднегодовая температура воздуха — $+4,5$ °C, сумма активных температур — 2100–2400 °C, годовая сумма осадков — 500–720 мм. В течение 2022–2024 гг. метеоусловия вегетационного периода различались по температуре и режиму увлажнения, что обеспечило репрезентативность данных. Стационарный полевой опыт был заложен по схеме с четырёхкратной повторностью. Размер делянки — 20 м².

Исследовались 5 вариантов опыта:

1. Контроль (без обработки инсектицидом и без удобрений);
2. Инсектицидная обработка (0,10 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.);
3. Инсектицидная обработка (0,12 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.);
4. Инсектицид (0,10 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.);
5. Инсектицид (0,12 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.).

Инсектицидный препарат представлял собой концентрат суспензии, содержащий 141 г/л тиаметоксама и 106 г/л лямбда-цигалотрина. Микроэлементы вносили в виде водорастворимых солей: борной кислоты и аммония молибдата. Обработка проводилась двукратно в фазу розетки и начало бутонизации.

Обсуждение результатов. В 2022 году было зафиксировано различие в скорости деградации действующих веществ инсектицида в зависимости от схемы обработки растений. В вариантах без добавления микроэлементов (0,10 и 0,12 л/га) концентрация тиаметоксама на момент внесения составляла 1,50 и 1,10 мг/кг соответственно, снижаясь через 7 суток до 1,10 и 0,75 мг/кг, а к 14-му дню — до 0,30 и 0,18 мг/кг. При этом в обоих вариантах остаточные количества оставались на уровне $\geq 0,1$ мг/кг на протяжении 14 дней, но снижались более равномерно (таблица 1).

В вариантах с применением микроэлементов В и Мо начальные уровни тиаметоксама были существенно выше — 2,55 и 2,15 мг/кг соответственно. На 7-й день после обработки концентрации сохранялись на уровне 1,47 и 1,11 мг/кг, а на 14-й день — 0,37 и 0,44 мг/кг.

Таким образом, пролонгированный эффект был выражен более чётко: остаточные количества сохранялись на уровне, превышающем 0,3 мг/кг, что более чем вдвое превышает значения в вариантах без микроэлементов.

Аналогичная тенденция наблюдалась и для лямбда-цигалотрина. В вариантах без микроэлементов его концентрация снижалась с 0,60 и 0,45 мг/кг до 0,10 и 0,09 мг/кг за 14 дней. В то время как в вариантах с добавлением В и Мо начальные уровни

составляли 0,82 и 0,70 мг/кг, а на 14-й день сохранялись на уровне 0,06 и 0,04 мг/кг соответственно. Это указывает на замедление деградации вещества в условиях микроэлементного питания.

Таким образом, вегетационный сезон 2022 года подтвердил, что применение микроэлементов В и Мо в сочетании с инсектицидом способствует пролонгированному действию как тиаметоксама, так и лямбда-цигалотрина, поддерживая остаточные количества веществ в растениях на более высоком уровне в течение как минимум двух недель после обработки (таблица 1).

Таблица 1 — Динамика разрушения действующих веществ инсектицидов в растениях рапса ярового сорта «Викрос» (Калужская область, 2022 г.)

Вариант опыта	День отбора			День отбора		
	0	7	14	0	7	14
	Лямбда-цигалотрин, мг/кг			Тиаметоксам, мг/кг		
Инсектицидная обработка (0,10 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,60	0,30	0,10	1,50	1,10	0,30
Инсектицидная обработка (0,12 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,45	0,25	0,09	1,10	0,75	0,18
Инсектицид (0,10 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,82	0,27	0,06	2,55	1,47	0,37
Инсектицид (0,12 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,70	0,32	0,04	2,15	1,11	0,44
Среднее по вариантам	0,64	0,29	0,07	1,82	1,11	0,32

Полученные данные за 2022 год наглядно показывают различия в динамике остаточных количеств действующих веществ инсектицидов (тиаметоксама и лямбда-цигалотрина) в зависимости

от схемы обработки ярового рапса. На всех сроках отбора чётко прослеживается тенденция: увеличение дозы инсектицида с 0,10 до 0,12 л/га без добавления микроэлементов не оказывает выраженного эффекта на содержание остаточных количеств — значения либо не меняются, либо отличаются незначительно. Это указывает на отсутствие дозозависимого эффекта в условиях 2022 года, вероятно, из-за ускоренной деградации препаратов на фоне благоприятных температурно-влажностных условий в вегетационный период. Особенно отчётливо преимущества вариантов с микроэлементами проявляются при сравнении средних значений: в вариантах с В и Мо наблюдается не только более высокий исходный уровень действующего вещества, но и более медленный темп его снижения.

Это обуславливает синергетический эффект микроэлементного питания, заключающийся в замедлении деградации действующих веществ инсектицида. Вероятно, это обусловлено улучшением физиологического состояния растений, усилением клеточной устойчивости и возможным взаимодействием микроэлементов с компонентами инсектицидного препарата, приводящим к частичной стабилизации активных веществ. Таким образом, пролонгация инсектицидного действия обеспечивается не за счёт увеличения концентрации препарата, а благодаря улучшению условий его усвоения и удержания в растительных тканях. Это подтверждает перспективность интеграции микроэлементного питания с химической защитой растений в агротехнологиях возделывания рапса.

Данные 2023 года испытаний были получены как репрезентативное понимание вопроса о динамике деградации действующих веществ инсектицидного препарата в растениях ярового рапса сорта «Викрос». Год отличался высокой температурой и ограниченным количеством осадков в фазе активной вегетации, что обусловило ускорение физиологических процессов в растениях и могло повлиять на кинетику распада пестицидов. таблица 2 отражает остаточные количества лямбда-цигалотрина и тиаметоксама в тканях растений на разных сроках после обработки в зависимости от схемы применения препарата и сочетания его с микроэлементами бором и молибденом.

Таблица 2 — Динамика разрушения действующих веществ инсектицидов в растениях рапса ярового сорта «Викрос» (Калужская область, 2023 г.)

Вариант опыта	День отбора			День отбора		
	0	7	14	0	7	14
	Лямбда-цигалотрин, мг/кг			Тиаметоксам, мг/кг		
Инсектицидная обработка (0,10 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,56	0,18	0	1,42	0,71	0
Инсектицидная обработка (0,12 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,37	0,14	0	0,88	0,49	0,07
Инсектицид (0,10 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,61	0,17	0,02	2,29	1,68	0,21
Инсектицид (0,12 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,59	0,19	0	1,99	0,92	0,16
Среднее по вариантам	0,53	0,17	0,02	1,64	0,95	0,10

Варианты с применением только инсектицида и удобрений (без микроэлементов) показали характерную тенденцию: при увеличении дозы препарата с 0,10 до 0,12 л/га уровень тиаметоксама в день внесения снизился с 1,42 до 0,88 мг/кг, а через 7 суток — с 0,71 до 0,49 мг/кг соответственно. К 14-му дню в первом варианте действующее вещество не определялось вовсе, а во втором сохранялось лишь на уровне 0,07 мг/кг. Это указывает на быструю деградацию препарата при отсутствии стабилизирующих факторов, несмотря на повышение дозы.

Противоположную картину демонстрируют варианты, в которых инсектицид применялся в сочетании с микроэлементами В и Мо. Уже в день обработки фиксировались более высокие концентрации тиаметоксама (2,29 и 1,99 мг/кг), причём даже на 14-й

день после внесения остаточные количества сохранялись на уровне 0,21 и 0,16 мг/кг. Эти значения превышают показатели контрольных вариантов более чем в 2 раза, что свидетельствует о выраженном пролонгирующем эффекте микроэлементов.

Результаты 2023 года (таблица 2), визуализируют пространственно-временную динамику остаточных количеств лямбда-цигалотрина и тиаметоксама в растениях ярового рапса в условиях применения различных агрохимических схем. Визуальный анализ столбчатых диаграмм позволяет проследить не только темпы деградации действующих веществ, но и влияние как дозировки инсектицидного препарата, так и факторов сопутствующего микроэлементного питания.

Очевидным становится, что увеличение дозы инсектицида (с 0,10 до 0,12 л/га) без добавления микроэлементов не оказывает пролонгирующего воздействия: уже к 7-му дню происходит резкое снижение концентраций, а к 14-му дню содержание действующих веществ практически нивелируется. Варианты с добавлением бора и молибдена демонстрируют более стабильный профиль деградации: кривые снижения плавные, а концентрации тиаметоксама и лямбда-цигалотрина удерживаются на количественно значимом уровне на протяжении двух недель.

Особое внимание привлекает высокая исходная концентрация тиаметоксама в варианте с дозой 0,10 л/га и микроэлементами, превышающая даже аналогичный показатель при дозе 0,12 л/га без микроэлементной подпитки. Это позволяет говорить о возможной трансформации метаболических путей абсорбции и фиксации препарата в тканях растения под влиянием физиологически активных ионов В и Мо, обладающих стабилизирующими и синергетическими свойствами.

В условиях 2024 года отмечено различие в скорости деградации тиаметоксама в зависимости от схемы обработки растений. В контрольном варианте без добавления микроэлементов концентрация действующего вещества на момент внесения составляла 1,37 и 0,98 мг/кг соответственно. Через 7 суток остаточное количество снижалось до 0,89 и 0,55 мг/кг, а на 14-й день препарат в растениях не обнаруживался, что свидетельствует о его полной деградации в пределах двух недель.

В вариантах с совместным применением инсектицида и микроэлементов фиксировались более высокие начальные концентрации (2,26 и 1,97 мг/кг), а также замедленная скорость разложения. Через 7 суток после обработки содержание тиаметоксама сохранялось на уровне 1,47 и 0,93 мг/кг, соответственно, а на 14-й день достигало 0,22 и 0,29 мг/кг. Таким образом, остаточные количества сохранялись на уровне $\geq 0,1$ мг/кг на 3–5 дней дольше по сравнению с вариантами без микроэлементов (таблица 3).

В среднем по вариантам опытов 2024 года содержание тиаметоксама составило 1,65 мг/кг в день обработки, 0,75 мг/кг через 7 суток и 0,10 мг/кг на 14-й день. Установлено, что применение бора и молибдена в смеси с инсектицидом способствует пролонгации инсектицидного действия за счёт замедления деградации действующего вещества.

Таблица 3 — Динамика разрушения действующих веществ инсектицидов в растениях рапса ярового сорта «Викрос» (Калужская область, 2024 г.)

Вариант опыта	День отбора			День отбора		
	0	7	14	0	7	14
	Лямбда-цигалотрин, мг/кг			Тиаметоксам, мг/кг		
Инсектицидная обработка (0,10 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,48	0,19	0	1,37	0,89	0
Инсектицидная обработка (0,12 л/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,37	0,18	0	0,98	0,55	0
Инсектицид (0,10 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,59	0,18	0,02	2,26	1,47	0,22
Инсектицид (0,12 л/га) + бор (2 кг/га) + молибден (0,3 кг/га) с удобрениями (NPK — 60 кг/га д.в.)	0,59	0,20	0	1,97	0,93	0,29
Среднее по вариантам	0,51	0,19	0,02	1,65	0,75	0,10

В 2024 году отмечено общее снижение начальной концентрации лямбда-цигалотрина в растениях рапса. В контрольных вариантах без применения микроэлементов исходное содержание действующего вещества составляло 0,48 и 0,37 мг/кг соответственно. Через 7 суток концентрация снижалась до 0,19 и 0,18 мг/кг, а на 14-й день препарат в растениях не определялся (таблица 3).

Варианты с совместным применением инсектицида и микроэлементов характеризовались более высокой начальной концентрацией (по 0,59 мг/кг), а также меньшей скоростью разложения. Через 7 суток остаточные количества составляли 0,18 и 0,20 мг/кг, соответственно, а на 14-й день сохранялись на уровне 0,02 и 0,00 мг/кг. Таким образом, добавление бора и молибдена замедляло распад лямбда-цигалотрина, особенно в первые 7 дней после обработки.

Содержание лямбда-цигалотрина в день обработки составляло 0,51 мг/кг, на 7-й день — 0,19 мг/кг, а на 14-й день — 0,02 мг/кг. Совместное внесение микроэлементов с инсектицидом способствовало умеренному увеличению срока сохранения остаточных количеств вещества в растениях, вероятно, за счёт биохимической стабилизации соединения на фоне повышения физиологической устойчивости растений к стрессу.

Выводы. В 2022 году установлено, что добавление микроэлементов бора и молибдена замедляло разрушение остаточных количеств действующих веществ инсектицида в растениях рапса. При прочих равных условиях концентрации тиаметоксама и лямбда-цигалотрина в вариантах с В и Мо сохранялись на более высоком уровне по сравнению с контролем. Так, на 14-й день после обработки остаточные количества тиаметоксама составляли 0,37–0,44 мг/кг, в то время как в вариантах без микроэлементов — не превышали 0,30 мг/кг. Повышение дозы инсектицида не оказывало существенного влияния на динамику деградации, тогда как использование микроэлементов обеспечивало пролонгированное действие, вероятно за счёт стабилизации действующего вещества в тканях растений.

В 2023 году в условиях жаркого и засушливого лета наблюдалось ускоренное снижение концентраций действующих ве-

ществ, особенно в вариантах без микроэлементов. Так, уже к 7-му дню после обработки в контрольных вариантах остаточные количества снижались более чем в 2 раза, а на 14-й день практически исчезали. При этом добавление В и Мо позволяло удерживать концентрации тиаметоксама на уровне 0,16–0,21 мг/кг, несмотря на агрессивные погодные условия. Повышение дозы инсектицида вновь не обеспечило существенного эффекта, что подтверждает нецелесообразность увеличения нормы расхода без сопутствующего микроэлементного питания.

В 2024 году проведённые исследования показали, что динамика деградации тиаметоксама и лямбда-цигалотрина в растениях рапса существенно зависит от схемы обработки. Повышение дозы инсектицида с 0,10 до 0,12 л/га не привело к значимому увеличению остаточных количеств действующих веществ, что свидетельствует об отсутствии выраженного дозозависимого эффекта. В то же время совместное применение инсектицида с микроэлементами (В и Мо) способствовало увеличению начального содержания действующих веществ и замедлению их разложения, особенно в случае тиаметоксама. На 14-й день после обработки в вариантах с добавлением микроэлементов остаточные количества сохранялись на уровне $\geq 0,1$ мг/кг, в то время как в вариантах без В и Мо препараты полностью разрушались. Это подтверждает пролонгирующий эффект микроэлементного питания, вероятно связанный с биохимической стабилизацией действующих веществ и повышением физиологической устойчивости растений к стрессу.

Таким образом, по итогам трёх лет исследований установлено, что добавление микроэлементов (В и Мо) пролонгирует инсектицидное действие препарата на основе тиаметоксама и лямбда-цигалотрина за счёт снижения скорости их деградации в растениях. Остаточные количества сохраняются на уровне $\geq 0,1$ мг/кг в среднем на 7–10 суток дольше по сравнению с вариантами без микроэлементного сопровождения. Повышение дозы инсектицида не даёт сопоставимого эффекта и не оправдано с агроэкологической и экономической точек зрения. Результаты подтверждают эффективность интеграции микроэлементного питания в технологии защиты растений как ключевого фактора

устойчивости, эффективности и экологической безопасности агротехнологий.

Данные исследования подтверждают пролонгирующий эффект микроэлементного питания, вероятно связанный с биохимической стабилизацией действующих веществ и повышением физиологической устойчивости растений к стрессу. Таким образом, добавление В и Мо позволяет повысить продолжительность инсектицидного действия без необходимости увеличения дозировки, что делает такую схему агрохимической защиты более устойчивой и экономически обоснованной.

Список литература

1. Акимов, А. А. Роль макро- и микроэлементов в жизни растений / А. А. Акимов, И. А. Платонов // Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: взгляд молодых ученых. — Тверь, 2021. — С. 38–41.
2. Аканова, Н. И. Эффективность магниевых удобрений на основе природных бруситов и их влияние на урожайность и качество масличных культур / Н. И. Аканова, А. В. Козлова, И. И. Серегина, Д. Е. Кутырева // Плодородие. — 2025. — № 1(142). — С. 9–12.
3. Анспок П. И. Микроудобрения: справочная книга / П.И. Анспок. — Л.: Колос, 1978. — 272 с.
4. Артемьев И. В. Рапс — масличная и кормовая культура / И. В. Артемьев, В. В. Карпачев. — Текст: непосредственный // Аграрная наука. — 2006. — № 2 4. — С. 18.
5. Баздырев Г. И. Интегрированная защита растений от вредных организмов: учебное пособие для магистров, обучающихся по направлению «Агрономия» / Г. И. Баздырев, Н. Н. Третьяков, О. О. Белошапкина. — Москва: Инфра-М, 2014. — 302 с.
6. Булавин Л. А. Агроэкономическая эффективность применения микроэлементов на посевах озимого и ярового рапса / Л. А. Булавин. — Текст: непосредственный // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2012. — № 4. — С. 37 - 41.
7. Буряков Ю. П., Москотин В. А. и др. Рапс озимый и яровой (практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания). — М., 1988. — 45 с.

8. Гончаров С. В., Горлова Л. А. Масличные культуры: новые вызовы и тенденции их развития // Масличные культуры. — 2018. — № 2 (174). — С.96–100.
9. Гулидова В. А. Рапс — высокомаржинальная культура России: монография / В. А. Гулидова. — Елец: Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2019. — С. 310.
10. Лисицын А. Н. Рапс-высокоценная масличная культура многоцелевого назначения / А. Н. Лисицын, В. Н. Григорьева, Л. Н. Лишаева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. — 2013. — № 1. — С. 5–12.
11. Онищенко Л. М., Стрелецкая Л. В., Кариков Д. С. Действие марганцевого и молибденового удобрений на посевные качества семян озимой пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 170. — С. 80–92.
12. Пейве Я. В. Металлы — микроэлементы и роль их в ферментативных процессах / Я.В. Пейве // Агрохимия. — 1975. — № 8. — С. 148–156.
13. Пилюк Я. Э. Экономическая эффективность производства маслосемян озимого и ярового рапса / Я. Э. Пилюк. — Текст: непосредственный // Земледелие и селекция в Беларуси. — 2019. — № 55. — С. 201–207.
14. Поликарпов А. С. Динамика разрушения инсектицидного препарата в растениях ярового рапса при применении с бором и молибденом / А. С. Поликарпов, И. Н. Гаспарян // Плодородие. — 2025. — № 2(143). — С. 54–58.
15. Поликарпов А. С. Изменение скорости разложения пестицидов при их совместном применении в процессе производства сельскохозяйственной продукции / А. С. Поликарпов и др. // Вестник Красноярского ГАУ. — 2023. — № 10(199). — С. 3–11.
16. Поликарпов А. С., Гаспарян И. Н. Эффективность молибдена и бора в повышении урожайности ярового рапса в Калужской области // Агрохимический вестник. — 2025. — № 3. — С. 32–35.
17. Поликарпов А. С. Изучение динамики разрушения многокомпонентного препарата на основе неоникотиноидов и пиретроидов при применении в сочетании с бором в системе защиты ярового рапса в условиях первой почвенно-климатической зоны РФ // Современные методы агрохимических... — 2024. — С. 118–121.
18. Поликарпов А. С., Гаспарян И. Н. Изучение остаточных количеств инсектицидного препарата при применении в сочетании с бором и молибденом для защиты ярового рапса на дерново-подзолистых почвах // Вестник аграрной науки Узбекистана. — 2025. — № 3 (21/2). — С. 144–148.
19. Поликарпов А. С. Изучение остаточных количеств инсектицидного препарата при применении в сочетании с бором и молибденом для защиты ярового рапса на дерново-подзолистых почвах // Защита растений от вредных организмов: материалы XII международной научно-практической конференции. — Краснодар: КубГАУ, 2025. — С. 144–148.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ В ПОСЕВАХ КОСТРЕЦА И ЛЮЦЕРНЫ

Л. Н. Прокина

Мордовский НИИ сельского хозяйства — филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований за 2016–2018 гг., полученных в полевом стационарном опыте на черноземе выщелоченном в условиях Республики Мордовия. Изучалось влияние макро- и микроудобрений отдельно и совместно на фоне известкования почвы (по 0,5 и 1,0 г.к.) на урожайность костреца безостого и люцерны изменчивой. Микроудобрения были в виде жидкого минерального удобрения Форсаж (микро). Анализ продуктивности многолетних трав показал, что по сбору сухого вещества в вариантах без применения средств химизации бобовая культура (5,52 т/га) имела преимущество перед кострцом (2,99 т/га или 54,2 %). Применение средств химизации в посевах люцерны увеличивало сбор с единицы площади на 0,86–2,24 т/га, в посевах злаковой травы — на 0,56–4,83 т/га. Наблюдалась положительная роль применения Форсажа (микро), которая выражалась прибавкой у люцерны 0,10 т/га, а у костреца 0,07 т/га по сравнению с фоном без обработки микроэлементами (6,89 и 5,60 т/га соответственно). Наибольшая рентабельность при возделывании люцерны была в вариантах с внесением полного минерального удобрения с дозой азота 50 кг д.в. /га, а костреца в вариантах с полным минеральным удобрением с дозой азота 80 кг д.в. /га (соответственно 113 и 107 %; 88 и 85 % без применения препарата «Форсаж» и с его внесением). Рекомендуемые дозы минеральных удобрений под многолетние травы

целесообразно вносить с обработкой посевов жидким минеральным удобрением Форсаж (микро).

Ключевые слова: кострец, люцерна, известкование, минеральные удобрения, жидкое минеральное удобрение Форсаж (микро), продуктивность, экономическая эффективность

THE USE OF CHEMICALS IN CROPS OF BEEF AND ALFALFA

L. N. Prokina

Mordovia Research Agricultural Institute — branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru.

Abstract. The article presents the results of research for 2016–2018, obtained in a field stationary experiment on leached chernozem in the conditions of the Republic of Mordovia. The effect of macro- and microfertilizers separately and together against the background of soil liming (0.5 and 1.0 g.k.) on the yield of smooth brome and variable alfalfa was studied. The micronutrient fertilizers were in the form of liquid mineral fertilizer Forsazh (micro). The analysis of the productivity of perennial grasses showed that the legume crop (5.52 t/ha) had an advantage over brome grass (2.99 t/ha or 54.2%) in terms of dry matter yield in the variants without the use of chemical fertilizers. The use of chemical fertilizers in alfalfa crops increased yield per unit area by 0.86–2.24 t/ha, and in cereal grass crops by 0.56–4.83 t/ha.

The use of Forsage (micro) had a positive effect, resulting in an increase of 0.10 t/ha for alfalfa and 0.07 t/ha for brome grass compared to the background without micronutrient treatment (6.89 and 5.60 t/ha, respectively). The highest profitability was observed in the alfalfa varieties with full mineral fertilizer at a nitrogen dose of 50 kg/ha, and in the brome varieties with full mineral fertilizer at a nitrogen dose of 80 kg/ha (respectively, 113 and 107%; 88 and 85% without the use of Forsazh and with its application). It is advisable to apply the recommended doses of

mineral fertilizers for perennial grasses with the use of liquid mineral fertilizer Forsazh (micro).

Key words: rump, alfalfa, liming, mineral fertilizers, liquid mineral fertilizer furious (micro), productivity, economic efficiency

Севообороты с включение многолетних трав является не только эффективным средством повышения продуктивности пашни и сохранения ее плодородия, но и важной составляющей для кормовой базы животноводческой отрасли, где им принадлежит значительная роль, как в одновидовых посевах, так и в травосмесях. Наиболее распространенными среди многолетних бобовых трав — люцерна, клевер; злаковых — кострец безостый [1, 2, 3]. На серо-каштановой почве внесение под люцерну $N_{90}P_{90}K_{60}$ увеличивало сбор зеленой массы люцерны с 16,4 до 45,8 т/га и сырого протеина на 1,75 %. [4]. В условиях Самарского Заволжья при внесении сульфата аммония 120 и 150 кг/га урожайность зеленой массы люцерны за два укоса составляла 53,6 и 53,5 т/га, что на 5,0 и 4,8 т/га больше чем на контроле. Варианты с азотным серосодержащим удобрением марки N:S (26:13) с дозой 120 и 150 кг/га превышали контроль на 14,7 и 12,6 т/га [5]. В условиях интенсивной химизации сельскохозяйственного производства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех элементов питания, в том числе и микроэлементов, что повышает потребность в их применении. Особенно высока роль микроэлементов в активизации деятельности симбиоза бобовых трав и клубеньковых бактерий. Они являются приоритетными элементами-биофилами, необходимость которых для живых организмов доказана многочисленными исследованиями [6].

Тема микроудобрений довольно таки актуальна, на смену одних форм микроудобрений приходят другие более высокотехнологичные. Универсальность последних заключается в том, что их можно вносить в почву, на поверхность почвы, обрабатывать семена и растения. [7]. Они способствуют мобилизации ростовых процессов и повышению продуктивности [8]. При возделывание лядвенца рогатого на черноземе выщелоченном среднемощном использование борно-молибденовых удобрений на фоне $P_{90} K_{60}$ способствовало формированию и получению 0,39 т/га семян

(прибавка к контролю составили 0,11 т/га) [9]. В исследованиях, проведенных на черноземе выщелоченном, использование хелатных соединений микроэлементов (ЖУСС-2) и минеральных удобрений совместно и отдельно на фоне известкования почвы по 0,5 и 1,0 г.к. на многолетних травах (люцерна и кострец) в полевом севообороте способствовало повышению продуктивности трав от 0,9 до 2,24 т/га. [10].

В условиях Мордовии изучение эффективности жидких минеральных удобрений, а именно Форсаж (микро) отдельно и в сочетании с минеральными удобрениями на продуктивность многолетних трав не проводилось. В этой связи есть необходимость изучения данного вопроса более детально на черноземах выщелоченных в условиях неустойчивого увлажнения юга лесостепи Нечерномезья.

Цель исследований — изучение комплексного использования средств химизации в посевах костреца и люцерны на черноземе выщелоченном.

Материал и методы. Исследования проводились на опытном поле Мордовского НИИ сельского хозяйства, на базе длительного стационарного полевого опыта. Опыт был заложен в 1972–1973 гг. последовательно в двух полях методом наложения по методике Б.А. Доспехов.

Объектом исследований являются многолетние травы, представленные кострецом и люцерной.

Почва опытного участка — чернозем выщелоченный тяжело-суглинистый со следующей агрохимической характеристикой пахотного слоя перед закладкой опытов (1972–1973 гг.): содержание гумуса (по Тюрину) 9.1 ± 0.2 %, общего азота (по Кьельдалю) — 0.49 ± 0.01 %, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) 60 ± 50 мг/кг почвы и 113 ± 8 мг/кг соответственно, подвижных соединений молибдена — 0.6 — 1.1 мг/кг, меди — 4.1 — 6.6 и бора — 1.3 — 1.8 мг/кг почвы. Гидролитическая кислотность (по Каппену) — 7.0 ± 0.3 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу) — 33.6 ± 0.9 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности почвы основаниями — 84 ± 2 %, pH_{KCl} (потенциометрически) — 5.4 ± 0.2 .

В делянках первого порядка изучалось действие известкования (фактор А): 1 — без известкования с 1972 г. (контроль), 2 — внесение CaCO_3 по 0,5 гидролитической кислотности (г. к.), 3 — внесение CaCO_3 по 1,0 г. к., второго влияние микроудобрения 1 — без микроудобрений, 2 — микроудобрения в форме жидкого минерального удобрения «Форсаж» (микро) и третьего действие различных уровней минерального питания (фактор С): 1 — без удобрений с 1972 г. (контроль); 2 — фосфорно-калийные удобрения ($\text{P}_{40}\text{K}_{40}$ — фон); 3 — $\text{PK}+\text{N}_1$ — низкий уровень азотного питания; 4 — $\text{PK}+\text{N}_2$ — умеренный уровень азотного питания; 5 — $\text{PK}+\text{N}_3$ — повышенный уровень азотного питания. Дозы азотного удобрения (д. в.) под люцерну составляли N_1-40 , N_2-50 , N_3-60 ; под костреч N_1-40 , N_2-60 , N_3-80 .

Расположение вариантов в опыте рендомизированное, наложение факторов методом расщепленных делянок, повторность трехкратная. Посевная площадь делянки 75 м^2 ($7.5 \times 10 \text{ м}$), учетная — $22,5 \text{ м}^2$ ($3 \times 7,5 \text{ м}$). Известкование проводили один раз за ротацию севооборота (перед закладкой опыта осенью 1989–1990 гг. и осенью 1999–2000 гг. Дозы известковых удобрений рассчитывали по гидролитической кислотности: 0,5 г.к. — 5 т/га, по 1,0 г.к. — 10 т/га извести. Фосфорно-калийные удобрения в форме двойного суперфосфата и хлористого калия под травы вносили вручную под основную обработку почвы в запас на 3 года пользования. Азотные удобрения в форме аммиачной селитры по вариантам опыта вносили ежегодно весной. Жидкое минеральное удобрение «Форсаж» (микро) (1 л/га) применяли путем опрыскивания посевов в фазу кущения костреца и ветвления люцерны. Расход рабочей жидкости составлял 250–300 л/га. Данный препарат кроме азота (7 %), фосфора (0,55 %) и калия (3,6 %) содержит большой спектр микроэлементов (сера — 15,0%, магний — 2,4%, цинк — 3,4 %, медь — 3,8 %, железо — 0,55 %, марганец 0,4 %, молибден — 0,68 %, бор — 0,58 %) и аминокислоты L-формы (15,0 %). Изготовитель ООО «Союз Хим КО», ТУ 2189-009-84551337–2015.

Учет урожая проводился путем скашивания вручную на учетных площадках с последующим взвешиванием зеленой массы. Агротехника в опыте — рекомендованная для условий Мор-

довии [11], кроме изучаемых факторов. В опытах высевались семена районированных сортов: костреца безостого — Пензенский 1, люцерны изменчивой — Находка. Беспокровный посев многолетних трав был проведен в июле сеялкой СЗТ–3.6 с последующим прикатыванием. Нормой высева люцерны — 15 кг/га, костреца — 25 кг/га. Первый укос проводили в межатковный период бутонизация — начало цветения люцерны и в период выметывания — начало цветения костреца; второй укос — по мере формирования укосной массы. Лабораторные исследования, наблюдения и анализы проводили в соответствии с принятыми методиками

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы проведения исследований различались как по температурному режиму, так и по увлажнению. В 2016 г. начало отрастания трав (последние декады апреля и первые две мая) проходило с дефицитом влаги. Осадков выпало 58 % от климатической нормы (46 мм), но среднесуточная температура воздуха за этот же промежуток времени превышала норму на $1,6^\circ \text{C}$. Во время формирования второго укоса в середине июля и первой декаде августа выпало по 1 мм (при среднемноголетней 19 мм), но зато температура воздуха была выше нормы на $3,7^\circ \text{C}$. ГТК за период вегетации составлял 0,73, по укосам первый — 0,88, второй — 0,61. Количество выпавших осадков составило 68 % от нормы мм (242 мм). Сумма эффективных температур (выше 10°C) равнялась $2\,417^\circ$ (климатическая норма $2\,014^\circ$).

Сельскохозяйственный 2017 год характеризовался ранней, прохладной затяжной весной, умеренно-теплым и дождливым периодом июнь–июль. До первого укоса осадков выпало 63 мм (климатическая норма 75 мм). Во второй декаде мая наблюдалось подмерзание верхушек люцерны. ГТК составил 0,87. Формирования второго укоса проходило при сильном увлажнении 153 мм и температура воздуха $18,2^\circ \text{C}$, что соответствовало климатической норме. В целом за период вегетации средняя температура воздуха составила — $15,5^\circ \text{C}$, что оказалось на $0,9^\circ \text{C}$ ниже климатической нормы. ГТК составил 1,13, что характерно для нормального развития и роста всех сельскохозяйственных культур.

Таблица 1 — Влияние известкования, макро-и микроудобрений на продуктивность люцерны (в среднем за три года пользования 2016–2018 гг.), т/га сухого вещества

Вариант		Без известкования	Известкование по 0,5 г.к.	Известкование по 1,0 г.к.	Среднее по удобрению
Микро удобрения	Макро удобрения				
Без микро удобрений	1.Без удобрений	5,52	5,51	5,51	5,55
	2.Р ₄₀ К ₄₀	6,29	6,37	6,42	6,41
	3.Н ₄₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,14	7,20	7,37	7,26
	4.Н ₅₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,58	7,78	7,79	7,79
	5.Н ₆₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,52	7,66	7,68	7,69
Форсаж (микро)	1.Без удобрений	5,62	5,58	5,56	
	2.Р ₄₀ К ₄₀	6,44	6,47	6,45	
	3.Н ₄₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,26	7,30	7,28	
	4.Н ₅₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,74	7,94	7,89	
	5.Н ₆₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,68	7,83	7,76	
Среднее по опыту					6.94
НСП ₀₅ (из.)0,04; НСП ₀₅ (Форсаж) 0,05; НСП ₀₅ (уд.) 0,15					

Вегетационный период сельскохозяйственных культур 2018 года характеризовался относительно засушливыми погодными условиями, но типичными для данной зоны. Гидротермический коэффициент за весь период вегетации составил 0,45 (средненоголетняя — 1,09), что не могло способствовать нормальному развитию изучаемых в севооборотах многолетних трав.

Таблица 2—Влияние известкования, макро-и микроудобрений на продуктивность костреца (в среднем за три года пользования 2016–2018 гг.), т/га сухого вещества

Вариант		Без известкования	Известкование по 0,5 г.к.	Известкование по 1.0 г.к.	Среднее по удобрению
Микро удобрения	Макро удобрения				
Без микро удобрений	1.Без удобрений	2,99	3,00	2,96	3,00
	2.Р ₄₀ К ₄₀	3,50	3,59	3,54	3,57
	3.Н ₄₀ Р ₄₀ К ₄₀	5,90	6,40	6,67	6,41
	4.Н ₆₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,00	7,42	7,46	7,34
	5.Н ₈₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,55	7,90	8,02	7,84
Форсаж (микро)	1.Без удобрений	3,01	3,02	3,00	
	2.Р ₄₀ К ₄₀	3,60	3,61	3,59	
	3.Н ₄₀ Р ₄₀ К ₄₀	6,06	6,63	6,81	
	4.Н ₆₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,04	7,55	7,59	
	5.Н ₈₀ Р ₄₀ К ₄₀	7,57	8,01	8,02	
Среднее по опыту					5,63
НСП ₀₅ (Форсаж) 0,06; НСП ₀₅ (уд.) 0,18;					

За годы наблюдений в вариантах естественного плодородия люцерна обеспечивала продуктивность 5,52 т/га сухого вещества (таблица 1).

Существенные прибавки сбора сухого вещества люцерны в среднем по опыту получены как при использовании фосфорно-калийных удобрений — 0,85, так и полного минерального удоб-

рения 2,03 т/га (контроль 5,55 т/га). С увеличением дозы азота до N_{60} в составе полного минерального удобрения существенного роста продуктивности люцерны по сравнению с вариантом $N_{50}P_{40}K_{40}$ не наблюдали. При обработке посевов препаратом Форсаж (микро) дополнительно получено 0,10 т сена с 1 га. Известкование почвы по 0,5 и 1,0 г.к. по сравнению с фоном без известкования (6,88 т/га) обеспечивало достоверный рост продуктивности люцерны (прирост 0,08 и 0,09 т/га соответственно). На вариантах произвесткованных по 0,5 и 1,0 г.к. с $N_{50}P_{40}K_{40}$ и обработкой посевов жидким минеральным удобрением «Форсаж» (микро) получена наибольшая продуктивность люцерны (7,94 и 7,89 т/га).

В вариантах с длительным использованием чернозема выщелоченного без применения агрохимических средств, костреч обеспечивал продуктивность — 2,99 т/га сухого вещества (таблица 2).

В вариантах с внесением разных доз минеральных удобрений продуктивность культуры повышалась на 0,57–4,84 т/га. Применение жидкого минерального удобрения «Форсаж» увеличивало продуктивность костреча на 0,07 т/га. Более эффективным его действие было на фоне известкования по 0,5 г.к. (прибавка 0,10 т/га по сравнению с вариантами без обработки препаратом Форсаж 5,66 т/га). Максимальный сбор сухого вещества у костреча (8,01 и 8,02 т/га) наблюдали в вариантах с полным минеральным удобрением с дозой азота 80 кг д.в./га на фоне известкования почвы с обработкой посевов и без нее.

Окупаемость полного минерального удобрения выше была в посевах костреча (29,8 кг сена на 1 кг д. в. удобрений против 15,6 кг сена у люцерны). В среднем по опыту в посевах костреча с увеличением дозы минерального азота с 40 до 80 кг в составе полного минерального удобрения окупаемость 1 кг д. в. азота изменялась с 71,0 до 53,4 кг сена.

В посевах люцерны более высокая окупаемость 1 кг д.в. удобрений (17,2 кг сена) была в варианте с $N_{50}P_{40}K_{40}$.

Исследованиями установлено, что в среднем по опыту при возделывании люцерны величина условно чистого дохода со-

ставляла 16398 руб./га с рентабельностью 109 % (таблица 3), наибольший условно-чистый доход в посевах люцерны получен в вариантах с внесением полного минерального удобрения (17768 руб./га) и рентабельностью 105 %. При возделывании люцерны известкование почвы по 0,5 и 1,0 г.к. незначительно повышало на 66–86 руб. условно чистый доход, по сравнению с фоном без известкования. (16308 руб./га). Применение Форсажа не способствовало увеличению получаемой прибыли.

За три года пользования травостоем костреча величина условно чистого дохода составляла 7236 руб./га при рентабельности 47 % (таблица 4). Внесение под костреч полного минерального удобрения повышало величину условно чистого дохода более чем в 13 раз (контроль 815 руб./га) и уровень рентабельности с 9 до 86 %. Наибольший условно-чистый доход получен в варианте с полным минеральным удобрением с дозой азота 80 кг д.в./га (14800 руб./га, рентабельность 89 %) на фоне известкования по 1,0 г.к.

Таким образом, в результате проведенных исследований предложено комплексное использование минеральных удобрений и жидкого минерального удобрения «Форсаж» (микро) в посевах многолетних трав. Он предусматривает возделывание люцерны на черноземе выщелоченном с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{50}P_{40}K_{40}$ и применением жидкого минерального удобрения «Форсаж» (1 л/га) в фазу ветвления. Освоение приема обеспечивает повышение урожайности на 7 % и окупаемости 1 кг д.в. полного минерального удобрения на 21 % по сравнению с вариантами $N_{50}P_{40}K_{40}$. При возделывании костреча необходимо внесение полного минерального удобрения в дозе $N_{80}P_{40}K_{40}$ и применение жидкого минерального удобрения «Форсаж» (1 л/га) в фазу кущения. Данные мероприятия обеспечивают повышение продуктивности на 4,27 т/га и в 4,3 раза окупаемости 1 кг д.в. минеральных удобрений (вариант $P_{40}K_{40}$ — 7,34 т/га и 7,1 кг сена на 1 кг д.в. минеральных удобрений).

Применение в посевах препарата Форсаж увеличивало данный показатель на 24 руб./га лишь на фоне известкования по 0,5 г.к.

Таблица 3 — Экономическая эффективность возделывания люцерны в зависимости от известкования, макро-и микроудобрений (в среднем за три года пользования 2016–2018 гг.)

Макро удобрения	Микро удобрение	Продуктивность, к. е. /га	Стоимость продукции, руб./га	Затраты, руб./га	Усл. чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Без известкования						
Без удобрений	Без м/уд.	3,59	25130	10587	14543	137
P ₄₀ K ₄₀		4,09	28630	13854	14776	107
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,64	32480	15822	16658	105
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		4,93	34510	16359	18151	111
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,89	34230	16801	17429	104
Без удобрений	Форсаж	3,65	25550	11202	14348	128
P ₄₀ K ₄₀		4,19	29330	14478	14852	103
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,72	33040	16442	16598	101
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		5,03	35210	16983	18227	107
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,99	34930	17425	17505	100
Известкование по 0,5 г. к.						
Без удобрений	Без м/уд.	3,58	25060	10660	14400	135
P ₄₀ K ₄₀		4,14	28980	13941	15039	108
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,68	32760	15907	16853	106
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		5,06	35420	16466	18954	115
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,98	34860	16897	17963	106
Без удобрений	Форсаж	3,63	25410	11722	13688	117
P ₄₀ K ₄₀		4,20	29400	15005	14395	96
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,74	33180	16972	16208	95
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		5,16	36120	17540	18580	106
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		5,09	35630	17974	17656	98

Продолжение таблицы 3

Известкование по 1,0 г.к.						
Без удобрений	Без м/уд.	3,58	25060	10885	14175	130
P ₄₀ K ₄₀		4,17	29190	14173	15017	106
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,79	33530	16159	17371	108
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		5,06	35420	16691	18729	112
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,99	34930	17125	17805	104
Без удобрений	Форсаж	3,61	25270	11492	13778	120
P ₄₀ K ₄₀		4,19	29330	14778	14552	98
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,73	33110	16744	16366	98
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀		5,13	35910	17308	18602	107
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		5,04	35280	17737	17543	99

Таблица 4 — Экономическая эффективность возделывания костреча в зависимости от известкования, макро-и микроудобрений (в среднем за три года пользования 2016–2018 гг.)

Макро удобрения	Микро удобрение	Продуктивность, к. е. /га	Стоимость продукции, руб./га	Затраты, руб./га	Усл. чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Без известкования						
Без удобрений	Без м/уд.	1,90	13300	11794	1508	13
P ₄₀ K ₄₀		2,52	17640	15089	2551	17
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		3,83	26810	17242	9568	55
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,40	30800	18298	12502	68
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,21	36470	19412	17058	88

Продолжение таблицы 4

Макро удобрения	Микро удобрение	Продуктивность, к. е. /га	Стоимость продукции, руб./га	Затраты, руб./га	Усл. чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Без удобрений	Форсаж	1,95	13650	12406	1244	10
P ₄₀ K ₄₀		2,55	17850	15697	2153	14
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,00	28000	17883	10117	57
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,54	31870	18932	12848	68
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,30	37100	20034	17068	85
Известкование по 0,5 г.к.						
Без удобрений	Без м/уд.	1,88	13160	11939	1221	10
P ₄₀ K ₄₀		2,50	17500	15234	2266	15
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		3,85	26950	17397	9553	55
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,51	31570	18474	13096	71
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,21	36470	19562	16908	86
Без удобрений	Форсаж	1,90	13300	12544	756	6
P ₄₀ K ₄₀		2,53	17710	15842	1868	12
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		3,99	27930	18031	9899	55
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,62	32340	19101	13239	69
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,38	37660	20203	17457	86
Известкование по 1,0 г.к						
Без удобрений	Без м/уд.	1,88	13160	12089	1071	9
P ₄₀ K ₄₀		2,56	17920	15399	2521	16
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		3,99	27930	17581	10349	59
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,57	31990	18639	13351	72
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,33	37310	19741	17569	89

Без удобрений	Форсаж	1,91	13370	12696	674	5
P ₄₀ K ₄₀		2,58	18060	16004	2056	13
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		4,06	28420	18198	10222	56
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀		4,64	32480	19256	13224	69
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀		5,33	37300	20341	16969	83

Список литературы

1. Каипов Я. З. Почвоулучшающее и продукционное значение кормовых севооборотов в степной зоне Южного Урала // Кормопроизводство. 2014. № 12. С. 19–23.
2. Кадоркина В. Ф., Васильева О. М., Кызынгашева Т. П. Современное состояние и перспективы полевого кормопроизводства в Хакасии // Кормопроизводство. 2014. № 10. С. 10–13.
3. Лазарев Н. Н., Стародубцева А. М., Пятинский Д. В. Продуктивность различных сортов люцерны российской и голландской селекции в Московской области // Кормопроизводство. 2014. № 2. С. 19–22.
4. Мерзлая Г. Е. Панкратова И. В. Эффективность органоминеральных систем удобрения. Плодородие. 2016. 2 (89): 25–27.
- Халилов С. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны. Аграрная наука. 2019; 6: 52–54.:
6. Чекмарев П. А., Каргин И. Ф, Игонов И. И. Агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения: ретроспектива и современность: монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. — 360 с.
7. Григулецкий В. Г. Эффективность применения новых комплексных энергизированных удобрений (GVG) при посевах озимой пшеницы Бригада на малогумусных слабощелочных почвах Северо-Востока Краснодарского края // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 6 (366) С. 63–67.
8. Усанова З. И., Васильев А. С. Эффективность применения новых видов удобрения и наноматериала в технологии возделывания овса// Достижения науки и техника АПК. 2012. № 8. С. 19–22.
9. Зарипова Г. К. Технологические приемы возделывания на семена лядвенца рогатого в условиях Башкортостана //Кормопроизводство. 2014. № 10. С. 31–34.

10. Прокина Л. Н., Медведева Е. В. Продуктивность и качество урожая многолетних трав в зависимости от минеральных удобрений и препарата ЖУСС-2 на фоне известкования // Аграрная Россия № 5. 2013. С. 12–14.
11. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовии: методическое руководство /под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: Изд-во мордовского ун-та, 2003. 425 с.

УДК 631.174:001.891:001.63:001.9:631.95.091:09:045

**РОЛЬ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА В СОЗДАНИИ
ЖУРНАЛА «УДОБРЕНИЕ И УРОЖАЙ»
И ЕГО ПУБЛИКАЦИИ В НЕМ**

**¹И. С. Прохоров, ¹И. И. Прохорова, ²Л. Н. Пирумова, ¹
³М. В. Царева**

¹АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве», Российская Федерация,
Москва, agrochem_herald@mail.ru

²ФГБНУ Центральная научная сельскохозяйственная библиотека,
Российская Федерация, Москва, pln@cnsnb.ru

³УО Белорусская ГСХА, Республика Беларусь, Горки,
tsarevamariya@mail.ru

Российская Федерация, 115419, г. Москва, ул. Шаболовка, 65-1-50,
+7-965-183-20-79

Аннотация: представлена краткая информация об истории создания журнала «Удобрение и Урожай» (впоследствии «Химизация социалистического земледелия», «Химия в сельском хозяйстве», «Химизация сельского хозяйства» и «Агрохимический вестник» в настоящее время). В связи со 160-летием со дня рождения Дмитрия Николаевича Прянишникова и проведением Международной научно-практической конференции «Агрохимическая наука — основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем» рассмотрены найденные в библиотеках работы академика, посвященные различным аспектам почвенно-агрохимических исследований и публикации о нем.

Ключевые слова: научный журнал; история; почвоведение; агрохимия

**ROLE OF D.N. PRYANISHNIKOV'S IN FOUNDATION
OF «FERTILIZER AND HARVEST» JOURNAL
AND HIS PUBLICATIONS IN IT**

**¹Ilya Sergeevich Prokhorov, ¹Irina Ivanovna Prokhorova,
²Lidiya Nikolaevna Pirumova, ^{1,3}Mariya Vladimirovna Tsareva**

¹ANO «Editorial office «Chemistry in Agriculture», the Russian Federation,
Moscow, agrochem_herald@mail.ru

²FSBSE Central Scientific Agricultural Library, the Russian Federation,
Moscow, pln@cnsb.ru

³EE Belorussian State Agricultural Academy, Gorki, tsarevamariya@mail.ru
65-1-50, Shabolovka st., Moscow, 115419, the Russian Federation

Annotation: brief information about the history of the «Fertilizer and Harvest» journal («Chemicalization of Socialistic Agriculture», «Chemistry in Agriculture», «Chemicalization of Agriculture» and «Agrochemical Herald» to the present) is presented. In connection with the 160th anniversary of the birth of Dmitry Nikolaevich Pryanishnikov and the International Scientific-Practical Conference «Agrochemical Science — basement for Effective Management by Natural-Resource Potential of Agroecosystems», the publications of Academician found in libraries devoted to various aspects of soil-agrochemical research and about him are reviewed.

Keywords: scientific journal; history; soil science; agrochemistry

Первый номер журнала «Удобрение и Урожай» увидел свет в июне 1929 г. Его выход был инициирован Дмитрием Николаевичем Прянишниковым при содействии Комитета по химизации народного хозяйства СССР при СНК СССР и Научного института по удобрениям НТУ ВСНХ СССР (сейчас — Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я.В. Самойлова) (фото) [1]. В настоящее время правопреемником журнала выступает научно-практический журнал «Агрохимический вестник», что подтверждено письмом НПО «Всесоюзная книжная палата» от 02.12.1992 № 0212, которое дает право редакции указывать на титульном листе издания формулировку «Основан в июне 1929 г.» [2, 3].

В первый редакционный совет входили: Э. В. Брицке — редактор, Л. Л. Балашев — зам. редактора, М. М. Вольф, С. И. Вольфович, Н. В. Гаврилов, А. А. Горяинов, П. И. Дубов, А. В. Казаков, Э. И. Квиринг, В. П. Кочетков, А. Н. Лебедянцева, А. П. Левицкий, Д. Н. Прянишников, А. Н. Розанов, Г. Д. Угрюмов, А. И. Юлин. Первыми авторами вместе с членами редсовета были:

В. И. Влодавец, Б. А. Скопинцев, Н. П. Ремезов, И. И. Траут, Ф. Т. Перитулин, Т. А. Рунов, В. М. Васильков, А. А. Чучупал, С. П. Лебедев, Н. В. Овчининский [4–6]. Первоначальный тираж журнала составлял 2000 экз.

С первых номеров журнала Д. Н. Прянишников стал его постоянным автором. В статьях «О сравнении действия навоза и минеральных удобрений», «Влияние замены навоза минеральными удобрениями на продуктивность различных культур и целого севооборота» [7–9] он описал датские опыты и их результаты по сравнению действия навоза и минеральных удобрений, проведенных в разное время в разных странах. Установлено, что полное минеральное удобрение (селитра, суперфосфат и калийная соль) все время давало более высокие урожаи, чем навоз, если количество питательных веществ было всюду одно и то же. Эти урожаи достигают при нормальных размерах удобрений и при известном распределении между отдельными культурами 125%, если урожай по навозу принять за 100, а так как удвоение количества навозного удобрения против нормы также дает урожай равный 125%, то отсюда следует, что в условиях датского опыта действие минеральных удобрений равно действию двойного количества питательных веществ, внесенных в виде навоза.



Академик ВАСХНИЛ Э. В. Брицке, профессор М. К. Малин, академики ВАСХНИЛ Д. Н. Прянишников и С. И. Вольфович (1929 г.)

При интенсивной культуре и стремлении получить максимальные урожаи, применяют одновременно и навоз, и минеральные удобрения. Чтобы избежать слишком большой концентрации солей весной и в то же время дать достаточный запас питания на вторую половину лета. Представлены данные свекловичного 4-польного севооборота на суглинке в сравнении с урожаем ржи, трав, а также опытов, полученных в свекловичном 4-полье на песчаной почве и четырехполье с картофелем. Сделаны выводы, что при условии выравнивания количеств питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях действие навоза всегда было слабее действия минеральных удобрений. Никакого отрицательного влияния внесения одних минеральных удобрений (без органического вещества) за время опытов не проявилось. Урожаи за вторые 14 лет по минеральному удобрению не были ниже, чем в течение первых 14 лет. Отдельные растения относятся не вполне одинаково к замене навоза половинным количеством питательных веществ в минеральных удобрениях; в то время как свекла дает в таких условиях около 120% по сравнению с урожаем на унавоженных делянках, картофель дает только 80–90%; хлеба занимают в этом среднее положение между свеклой с картофелем.

Приведены результаты датских опытов по изучению вопроса в какие количества того и другого рода удобрений нужно внести, чтобы получить равные урожаи. Установили, что на урожаях положительного влияния органического вещества вовсе не сказало, преобладала отрицательная сторона его действия. Если исключить влияние питательных веществ — азота, фосфора и калия — навоза, то можно все же ожидать ряда полезных влияний от внесения удобрений в виде органического вещества, например возможность внести питательные вещества без того сильного повышения концентрации раствора в начале вегетационного периода, какое вызывают минеральные удобрения, но с обеспечением постепенного увеличения количества нитратов и др. питательных веществ в почве в последующее время. Органическое вещество повышает буферные свойства почвы и способность ее противостояния различным вредным влияниям.

В следующих своих публикациях в 1931 г. Д. Н. Прянишников в полевых опытах сопоставлял влияние прежде внесенной

известки на общее количество азота и фосфора в урожае на 1-й и 10-й годы после известкования. Отмечено как меняется растворимость фосфорной кислоты почвы в воде при последовательном снижении рН в случае почвы неизвесткованной и известкованной. Установлено, что известкование может способствовать переходу фосфорной кислоты в более усвояемое состояние, и это побочное обстоятельство может влиять на форму кривой, выражающей зависимость урожаев от рН почвы. Изменение рН почвы в целях нахождения оптимальной точки вызывает в почве ряд других изменений, которые могут оказывать свое влияние на результаты опытов. Достаточная концентрация ионов кальция в растворе может позволить растению переносить такие концентрации ионов водорода, которые в отсутствии кальция заведомо губельны. В связи с тем питается ли растение аммиачным или нитратным азотом, оптимальная реакция может оказаться различной; условия питания фосфорной кислотой в разных почвах с изменением рН изменяются по-разному, возможны и др. побочные действия, связанные с изменением реакции почвы [10]. Во второй было рассмотрено на какие источники азотного удобрения может рассчитывать Восточная Сибирь. 1. Создание цианамидного завода на малом Ангарстрое. Производство цианамидов состоит из 2 процессов: получение карбида и азотирование карбида. 2. Замена чистых паров культурой азотособирателей на зеленое удобрение. Нужно проработать вопрос какое растение наиболее подходит для местных условий — люпин или донник, иди хмелевидная люцерна, или какое-либо бобовое из местной флоры.

В 1932 г. в своих статьях [12, 13] Д. Н. Прянишников определил, что при внесении калийных солей растение в лучшем случае (овес, ячмень) является нейтральным фактором и ничего не может со своей стороны противопоставить повышению кислотности почвенного раствора, вызываемой явлениями обмена (в отличие от поведения растений по отношению к селитре). В ряде случаев растение своим отношением к хлористому калию может еще усилить кислотность, присоединяя физиологический эффект к действию причин почвенно-химического порядка. Признавая факт, что кислотность, вызванная почвенно-химическими причинами,

должна быть при внесении калийных солей принята во внимание, прежде всего как фактор более мощный и характеризующий изменения во всей массе почвы следует иметь в виду, что некоторые растения могут своим отношением к хлористому калию действовать в том же направлении как и сама почва, и на этом общем кислотном фоне вызывать еще большее подкисление местного характера в сфере действия корневых волосков. Также была рассмотрена роль аммиака как источника азота растений. Аммиак не только не требует предварительной нитрификации, но при одновременном присутствии в растении обычно быстрее поглощается растением и потребляется при процессах синтеза, чем азотная кислота. Аммиак, поглощенный растениями или образовавшийся внутри растения за счет азотной кислоты, всегда является исходным материалом для синтеза белковых веществ в растении, а с другой стороны аммиак является также и конечным продуктом распада белков в растении.

После смерти Константина Казтановича Гедройца журнал № 1 в 1933 г. был во многом посвящен его памяти. Статья Д. Н. Прянишникова «К.К. Гедройц как агрохимик» [14] дополнила публикации А.Н. Соколовского «К.К. Гедройц как почвовед» [15], Э.В. Брицке «К.К. Гедройц как научный работник» [16] и О.К. Кедров-Зихман «Проблемы известкования в учении К.К. Гедройца» [17]. В ней была рассмотрена научная деятельность и результаты исследований К.К. Гедройца. Отмечено, что в лице К.К. Гедройца наука потеряла преданного делу исследователя, хорошо известного ученого в области агрохимии и почвоведения во всем мире. «...Его отличали углубленный подход к изучаемому вопросу, всегдашнее стремление не к поверхностному овладению явлением, а к подведению общих физических и химических основ, высокая объективность изложения. Его будут помнить как основателя учения о почвенном поглощающем комплексе — краугольном камне современного почвоведения...».

В 1934 г. вышла статья «Развитие химической промышленности — мощный рычаг поднятия урожая» [18]. В ней Дмитрий Николаевич дал анализ зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от использования минеральных удобрений в странах Западной Европы и в СССР. Он показал, что удобрения

могут давать в климатических условиях СССР крупный эффект, не меньший чем в Западной Европе. Отмечено, что уровень урожайности культур в дореволюционной России значительно ниже средневропейской. Для повышения урожайности необходимы удобрения, т.е. нужно развивать химическую промышленность. Потребности в удобрениях огромны, но с точки зрения запасов сырья имеется возможность их удовлетворения, т.к. открыты новые ресурсы и они начали использоваться, имеется ряд крупных химических комбинатов, а присоединение к ним новых и усиление мощности уже существующих удовлетворит уже значительную часть потребностей в удобрении и решит задачу укрепления химической мощи СССР.

В 1936 г. наряду с собственной статьей [19] в № 9 были опубликованы работы коллег Д. Н. Прянишникова по Тимирязевской академии [20–25]. Так, академиком был рассмотрен вопрос снабжения нашего земледелия азотом в обширнейших районах, не ставя промышленности чрезмерных задач и не нарушая экономического правила — направлять дорогие удобрения под ценные культуры, а для массового поднятия урожая хлебов использовать более дешевые источники азота. Азот технический всегда дороже клевера и азота навоза, поэтому во всех странах мира главная доля снабжения сельскохозяйственных растений азотом принадлежит не техническому, а биологическому пути (навозу). Биологический путь фиксации азота является даровым, если все расходы по культуре оплачивается животноводством. Отмечено, что в Германии азотная промышленность не покрывает всей потребности в азоте. Наш азотный баланс отличается от данных по Дании и Германии, мы возвращаем почве в удобрениях меньше половины уносимого из нее азота, главная часть покрывается за счет мобилизации азота почвенного гумуса. В азотном балансе СССР главной статьей является использование азота черноземных почв, которые на юго-востоке пока еще допускают хозяйство с отрицательным азотным балансом, но в районах старой культуры и чернозем уже требует возвращения взятых питательных веществ, и без достаточного внесения удобрения уже нельзя вести хозяйство. Необходимо увеличивать приход азота, как по линии азотной промышленности, так и

сильно расширяя культуру азотособирателей. «...Мы располагаем мощным средством улучшить наш азотный баланс за счет азота органических веществ, и на этих источниках нужно базировать поднятие урожая зерновых хлебов. Нужно расширять клеверные посевы, нужны мероприятия по развитию производства семян в совхозах и колхозах определенных районов, т.к. недостаток семян клевера ограничивает в настоящее время развитие нашего клеверосеяния...».

Иван Георгиевич Дикусар рассмотрел вклад Д. Н. Прянишникова в разрешение азотного вопроса в физиологии растений, а также какое отношение имеют результаты его работ в этой области к практическим мероприятиям по повышению урожайности. Он представил общую схему превращения запасных веществ при прорастании семян, которая является единственной основной схемой раздела учебников физиологии растений «Превращение белковых веществ при прорастании». Исследования обмена веществ в растениях и питания растений азотом занимали среди многообразных и обширных агрохимических и физиологических работ Д.Н. Прянишникова центральное место. Его классические работы занимают первое место в историческом развитии экспериментальных исследований проблемы белкового обмена в растениях. Но при этом, будучи физиологом, он все время оставался агрономом. Он великолепный знаток технологии производства синтетического азота. В планировании химической азотной промышленности он как крупнейший агрохимик, играл большую активную роль [20].

Иван Вячеславович Якушкин писал: «... Д. Н. Прянишников занимает исключительное место в агрономической науке — в отрасли полевых культур. Он руководил кафедрой частного земледелия и интересовался всеми вопросами полеводства и полевой культуры». Дан анализ важнейших агрономических статей и работ Д. Н. Прянишникова. Отмечено, что Д. Н. Прянишников дал стране правильное решение крупнейших вопросов о фосфорите, о золе, о торфе, о люпине. По свекле, хлопчатнику, люпину, клеверу, люцерне Д. Н. Прянишников разработал основные пути подъема. Относящиеся к этим культурам положения, выдвинутые им, прочно влились в сельскохозяйственную науку и жизнь [21].

Евгений Васильевич Бобко писал: «...По справедливости Д. Н. Прянишников может быть назван отцом русской агрохимии, но значение его исследований гораздо шире, он сыграл немалую роль в выработке научных основ агрономии. Теоретические исследования Д. Н. Прянишникова по вопросам обмена веществ корневого питания растений делают его признанным главой агрохимиков в международном масштабе. Его руководства по удобрению и частному земледелию переведены на иностранные языки и пользуются широкой популярностью. Он выступает в своих работах как агроном, вооруженный глубоким и разносторонним знанием самых различных областей сельского хозяйства. На основе глубокого анализа зарубежного и нашего хозяйства он выдвигает ряд конкретных предложений, имеющих целью повысить производительность хозяйства. Использование зеленого удобрения, фосфорита и золы. Уплотнение севооборота; посев масличных по моркови, подсев или пожнивный посев турнепса; различные способы подсева и пожнивного посева зеленых удобрений» [22].

Борис Александрович Голубев писал: «...Лаборатория Д. Н. Прянишникова — капитанский мостик агрохимии. Вся совокупность вопросов, относящихся к взаимодействию растений, почвы и удобрений, изучалась здесь с непревзойденной полнотой, умением и тщательностью. Подчеркивал рост фосфатов в повышении урожайности полей. За 40 лет лаборатория опубликовала свыше 200 научных работ по фосфатам и лично Д. Н. Прянишниковым сделано больше 60 публикаций только по вопросам, относящимся к фосфатной проблеме...» [23].

Александр Григорьевич Шестаков писал: «...Д. Н. Прянишников — крупнейший агроном СССР, но также известен за рубежом. Д. Н. Прянишников также известен своими трудами по физиологии и агрохимии. Д. Н. Прянишников развил вегетационный метод. Решение ряда важнейших вопросов — азотного, фосфорного, калийного питания сопровождалось в его лаборатории и разработкой методики вегетационного опыта. Лаборатория не занималась специально разработкой методики вегетационных опытов как таковой, но эта необходимость возникала при решении того или иного вопроса. Проведенные в лаборатории исследования по

вопросу о питательных смесях позволяют точнее подходить к составлению питательных растворов при проведении различных исследований. Вегетационный метод применяется в целях расшифровки роли различных факторов питания на рост и развитие растений...» [24].

В еще одной своей статье И. Г. Дикусар писал: «...Формирование агрохимии в России и подготовка кадров агрохимиков непосредственно связаны с Д. Н. Прянишниковым. После окончания Петровской академии в начале 1892 г. Д. Н. Прянишников открыл в университете приват-доцентский курс по агрохимии. В 1895 г. получает кафедру частного земледелия в Петровской академии и начинает читать курс «Учение об удобрении», затем пишет учебники «Частное земледелие» и «Учение об удобрении». Д. Н. Прянишников — сторонник синтеза научно-исследовательского дела и педагогической работы...» [25].

В 1937 г. Д. Н. Прянишников писал: «... В центре внимания стоит не злаковое травополье, а севообороты плодосменного типа, основанные на чередовании хлебов с клевером (или др. бобовыми) и пропашными культурами. Злаковое травополье с большим процентом площади под травами есть только частный случай, уместный больше в редко населенных засушливых местах, где площадь под хлебами подлежит сокращению». Сделаны выводы, что нельзя считать травополье единственной и незаменимой системой земледелия, оно имеет лишь второстепенное значение по сравнению с севооборотами др. типов. Противопоставлять заботу о структуре и воде, заботе о пище для растений недопустимо, наоборот, чем лучше растения снабжены водой, тем выгоднее снабжать их и большим количеством удобрений. Представление о том, что без травополья недостаток влаги в почве помешает применять 24 млн т удобрений, противоречит всем данным многочисленных опытов. «...Предел для количества удобрений, который с выгодой может быть применен в нашем земледелии, лежит много выше, вопрос в том на какую высоту мы хотим поднять урожай, сколько клевера и навоза мы будем иметь в 1942 г. и сколько удобрений может дать нам промышленность...» [26].

В то время журнал также публиковал официальные документы: «Об организации Всесоюзного института удобрений», «Об объединении Института удобрений и агропочвоведения», а также хронику и статьи — персоналии [27–32]. Содержание журнала было продублировано на английском и немецком языках, тираж журнала составлял 1 875 экз., достигнув в 1938 г. — 9 660 экз.

Так в 1938 г. вышла очередная статья Д. Н. Прянишникова совместно с Николаем Захаровичем Станковым «III пленум секции химизации ВАСХНИЛ», в которой был представлен анализ материалов пленума: повестка дня; доклады; постановление по группе докладов «Физиологическое обоснование техники внесения удобрений; по вопросу «О взаимодействии удобрений с почвой» и др. [27].

В статье в 1938 г. Д. Н. Прянишникова писал: «...В СССР находится 60% мировых запасов фосфатов, но в связи с разведкой новых месторождений в 1937 г. удельный вес СССР в мировых запасах еще более вырос». Им была дана характеристика залежей Хибинского, Каратау, Соликамска. Сделан подсчет удобрений, которые потребуются в 1942 г. для получения валового сбора в 9 млрд. пудов хлеба, потребность в азоте может быть удовлетворена при разном соотношении между азотом техническим и азотом биологическим [33]. Отмечено, что наблюдается разрыв между оценкой потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях со стороны агрономов и теми возможностями, о каких говорят представители промышленности. Дан анализ природных ресурсов сырья для удобрений, их месторождений и производственных мощностей химических комбинатов. При производстве 24 млн т удобрений страна выйдет на первое место в мире по развитию химической промышленности и по самообеспеченности продовольствием.

В том же 1938 г. вновь статьи, посвященные Д. Н. Прянишникову, от имени его коллег (Всеволод Маврикиевич Ключковский, Б.А. Голубев, И.Г. Дикусар, Семен Исаакович Вольфович, Сергей Владимирович Щерба).

Посвящается 50-летию научной, педагогической и общественной деятельности Д. Н. Прянишникова, с именем которого

связано развитие советской агрохимии. Научные труды Д. Н. Прянишникова завоевали ему мировую славу. В своих работах Д. Н. Прянишников уделяет большое внимание вопросам государственного планирования производства и применения удобрений. В его работах находим глубокий оптимизм, уверенность в несокрушимых силах и неограниченных возможностях страны [34].

Д. Н. Прянишников доказал, что наше отечественное сырье (фосфориты) пригодно для производства удобрений. 10 лет в его лаборатории велись исследования по технологии суперфосфатного производства, получению преципитата, термофосфатов. Многогранная деятельность Д. Н. Прянишникова включает и его напряженную работу по распространению сельскохозяйственного образования. Д. Н. Прянишников утверждал, что необходимо развитие химической промышленности [35].

Развитие агрохимии в СССР и подготовка агрохимиков связаны с научно-педагогической деятельностью Д. Н. Прянишникова. Он свою исследовательскую работу по химии почвы в лаборатории соединил в одно целое, в проблему химизации почв и повышения урожаев в стране. Работы Д. Н. Прянишникова по белковому обмену и минеральному питанию широко известны. Подчеркивается значение работы Д. Н. Прянишников по вопросам химии почвы и биохимии растений. Работы Д. Н. Прянишникова по научному обоснованию плана агрономических мероприятий тесно связаны с его работами экспериментально-лабораторного характера. В работах по планированию мероприятий по повышению урожаев обоснована связь с обороной страны [36].

Рассмотрена научная, педагогическая и общественная деятельность Д. Н. Прянишникова. Отмечено, что Д. Н. Прянишников впервые в России организовал в лаборатории ТСХА технические опыты по химической переработке фосфоритов и вегетационные опыты с ними, в России туковой промышленности почти не существовало. Суперфосфатная промышленность была представлена несколькими полукустарными заводами. Д. Н. Прянишников проводил опытные работы и доказал, что

отечественное сырье вполне подходит для производства минеральных удобрений. Несколько работ лаборатории было посвящено изучению процесса сплавления и спекания фосфоритов с щелочными солями — содой, сульфатом натрия, растительной золой. Велись широкие и глубокие физиологические и агрохимические исследования удобрений, которые освещали оптимальные условия их применения на разных почвах и под разные культуры [37].

Первой научной работой Д. Н. Прянишникова был отчет о полевых опытах с удобрениями. Описаны основные этапы работы опытных полей НИУИФ и прослежено как отражались научные идеи и построения Д. Н. Прянишникова в программе и результатах работ этих опытных учреждений. Программа опытных полей имела тесную связь с работами Д. Н. Прянишникова, он оказывал влияние на построение и осуществление этой программы. Все исследовательские работы на опытных полях НИУИФ в той или иной степени связаны с работами Д. Н. Прянишникова [38].

В 1940 г. уже сам Дмитрий Николаевич публикует материал под названием «О Тимирязеве» [39], в котором он писал: «... К.А. Тимирязев подчеркивал, что для того, чтобы развивалась прикладная наука, наука уже должна существовать, иначе отдельно стоящие наблюдения не получают обобщения. Что в теории причина, то средство для практики. Только знание причины явлений дает человеку в руки и средство управлять ими. А находить причину явлений нас учит только опыт...».

В том же году в сдвоенном номере № 11–12 Приветствие сотрудников Всесоюзного института удобрений, агротехники и агропочвоведения и кафедры агрохимии Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева в день 75-летия Д. Н. Прянишникова [40]. Б.А. Голубевым рассмотрены биография и этапы пути Д. Н. Прянишникова, его научная, педагогическая и общественная деятельность [41]. Он же в № 1 за 1941 г. опубликовал статью «75 лет агрохимии в сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева» [42], в которой был дан анализ развития науки агрохимической химии с момента основания

Ж.-Б. Буссенго первой агрохимической опытной станции в 1836 г. в Бехельбронне и организации кафедры агрохимической химии Академии в 1865 г. в России. Отмечается вклад заведующих кафедрой агрохимии в Академии — П. А. Ильенкова — крупнейшего специалиста в области химической технологии, Г. Г. Густавсона — работавшего в области общей химии, а также Д. Н. Прянишников в развитие агрохимии и преподавания этой науки. Отмечается, что Д. Н. Прянишников был единственным представителем науки, который доказал, что наше отечественное сырье (фосфориты) пригодно для производства удобрений. «...В лаборатории Д. Н. Прянишникова проводят увязанные с полевыми опытами исследования по питанию сахарной свеклы и ее отношение к удобрениям. Затем он возглавляет агрохимический отдел Центрального научно-исследовательского института сахарной свеклы и развивает свои исследования о единстве основных превращений азотистых веществ в растительном и животном организме...».

В 1941 г. последним, вышедшим номером журнала, стал № 6 с тиражом 8 770 экз., так как началась Великая Отечественная Война. Среди его авторов были: В.В. Церлинг, В.В. Бернард, Е.Н. Мишустин, М.Г. Голик, О.М. Джумаев, Е.Ф. Березова, Л.В. Судаклова, А.В. Соколов, Н. Н. Соколов, В.Н. Перегудов, Р.В. Витоль, П.И. Садовский, М. Бабаков.

В 1956 г. журнал был восстановлен под названием «Удобрение и Урожай» как ежемесячный научно-производственный журнал Минсельхоза СССР и Министерства совхозов СССР. Членами редколлегии журнала были: В.Е. Егоров (гл. ред.), П.А. Баранов, А.Ф. Кабанов, Н.П. Карпинский, О.К. Кедров-Зихман, В.М. Ключковский, И.П. Мамченков, Я.В. Пейве, И.И. Самойлов, П.Г. Найдин, Н.Д. Смирнов, Ф.В. Турчин. Начальный тираж 14 000 экз., который достиг 19 600 экз. в 1957 г.

В 1958 г. Оскар Карлович Кедров-Зихман опубликовал очередную исторический материал под названием «Жизнь и деятельность Д. Н. Прянишникова» [43].

В 1985 г. к 120-летию со дня рождения Д. Н. Прянишникова вышли статьи Александра Васильевича Петербургского

и Веры Владимировны Церлинг [44, 45]. В первой отмечено, что: «... Д. Н. Прянишников, внес фундаментальный вклад в учение о питании высших растений и применении удобрений... Д. Н. Прянишников подготовил 50 профессоров...». Во второй рассмотрена деятельность Д. Н. Прянишникова. Подчеркнуто: «... что он доказывал необходимость развития промышленности минеральных удобрений, издал классический учебник-монографию «Агрохимия», руководил исследованиями по минеральному питанию растений, глубоко исследовал самые важные и сложные проблемы минерального питания растений. Вклад Д. Н. Прянишникова в физиологию растений служит и в настоящее время основой изучения минерального питания сельскохозяйственных культур...».

В 2005 и 2015 г. вновь юбилейные публикации Виктора Васильевича Кидина и Сергея Порфирьевича Торшина [46, 47]: «... На основе научных работ Д. Н. Прянишникова можно сделать вывод, что поднятие химизации сельского хозяйства на должный уровень, наряду с увеличением применения средств химизации, требует серьезного увеличения научного агрохимического обеспечения, расширения исследовательских работ по агрохимии...». Описан вклад Д. Н. Прянишников в развитие агрохимии, сельского хозяйства, туковой промышленности нашей страны [47]. «...Новое направление в Тимирязевской академии возглавил Д. Н. Прянишников, который в 1947 г. организовал Биофизическую лабораторию (БФЛ), которая позднее переросла во Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии (ВНИИСХРАЭ). Параллельно с БФЛ в Тимирязевской академии под руководством В.В. Рачинского при участии Ф.П. Платонова была организована радиоизотопная лаборатория (РИЛ) а позднее соответствующая кафедра...».

***Редакция журнала «Агрохимический вестник»
поздравляет всю агрохимическую общественность
со 160-летием со дня рождения
Великого человека нашей Родины
Дмитрия Николаевича Прянишникова!***

Список литературы

1. Прохорова И. И. Из истории журнала // Химия в сельском хозяйстве, 1993, № 1–2. — С. 4–5.
2. Пирумова Л. Н. Листая страницы издания: к юбилею журнала «Агрохимический вестник» // Агрохимический вестник, 2019, № 3. — С. 8–14.
3. Прохоров И. С. От истории публикаций по агрохимии до юбилея научного журнала // Агрохимический вестник, 2019, № 3. — С. 3–7.
4. Осипов А. И., Якушев В. П., Якушев В. В. История научных исследований в агрохимии и перспективы применения удобрений в России // Агрохимический вестник, 2020, № 2. — С. 73–80.
5. Прохоров И. С. Первый номер журнала «Химия в сельском хозяйстве» // Агрохимический вестник, 2021, № 1. — С. 81.
6. Прохоров И. С. 65 лет возобновления выпуска журнала «Удобрение и урожай» // Агрохимический вестник, 2021, № 1. — С. 82.
7. Прянишников Д. Н. О сравнении действия навоза и минеральных удобрений // Удобрения и урожай, 1929, № 1. — С. 8–15.
8. Прянишников Д. Н. Влияние замены навоза минеральными удобрениями на продуктивность различных культур и целого севооборота // Удобрения и урожай, 1929, № 2. — С. 77–86.
9. Прянишников Д. Н. К вопросу об оценке навозного удобрения // Удобрения и урожай, 1929, № 5. — С. 268–274.
10. Прянишников Д. Н. О влиянии реакции почвы на рост растений // Удобрения и урожай, 1931, № 1. — С. 53–61.
11. Прянишников Д. Н. Ближайшие пути разрешения азотного вопроса для Восточной Сибири // Удобрения и урожай, 1931, № 10. — С. 887–892.
12. Прянишников Д. Н. О физиологической кислотности калийных солей // Химизация социалистического земледелия, 1932, № 5. — С. 28–40.
13. Прянишников Д. Н. Аммиак в жизни растений и в практике удобрений // Химизация социалистического земледелия, 1932, № 9–10. — С. 28–39.
14. Прянишников Д. Н. К. К. Гедройц как агрохимик // Химизация социалистического земледелия, 1933, № 1. — С. 12–20.
15. Соколовский А. Н. К. К. Гедройц как почвовед // Химизация социалистического земледелия, 1933, № 1. — С. 21–29.
16. Брицке Э. В. К. К. Гедройц как научный работник // Химизация социалистического земледелия, 1933, № 1. — С. 30–33.
17. Кедров-Зихман О. К. Проблемы известкования в учении К. К. Гедройца // Химизация социалистического земледелия, 1933, № 1. — С. 41–48.
18. Прянишников Д. Н. Развитие химической промышленности — мощный рычаг поднятия урожаев // Химизация социалистического земледелия, 1934, № 1. — С. 33–41.
19. Прянишников Д. Н. Азотный баланс в нашем земледелии // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 5–14.
20. Дикусар И. Г. Академик Д. Н. Прянишников и азотный вопрос в физиологии растений // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 15–20.
21. Якушкин И. В. Академик Д. Н. Прянишников в полеводстве // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 21–23.
22. Бобко Е. В. Академик Д. Н. Прянишников в борьбе за высокий урожай // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 24–29.
23. Голубев Б. А. Работы по фосфатам в лаборатории Д. Н. Прянишникова // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 30–41.
24. Шестаков А. Г. О развитии вегетационного метода в лаборатории академика Д. Н. Прянишникова // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 42–58.
25. Дикусар И. Г. Роль академика Д. Н. Прянишникова в подготовке кадров агрохимиков // Химизация социалистического земледелия, 1936, № 9. — С. 71–76.
26. Прянишников Д. Н. Травополье и агрохимия // Химизация социалистического земледелия, 1937, № 9. — С. 10–18.
27. Прянишников Д. Н., Станков Н. З. III пленум секции химизации ВАСХНИЛ // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 6. — С. 79–88.
28. Кедров-Зихман О. К. О работе III Международного конгресса почвоведов // Химизация социалистического земледелия, 1935, № 11–12. — С. 13–26.
29. Кедров-Зихман О. К. К 80-летию академика А. Н. Баха // Химизация социалистического земледелия, 1937, № 5. — С. 29–32.

30. Кедров-Зихман О. К., Ярусов С. С. Итоги работ в области известкования подзолистых почв СССР и перспективы известкования в третьем пятилетии // Химизация социалистического земледелия, 1937, № 12. — С. 47–60.
31. Кедров-Зихман О. К. Основные достижения в области агрохимии // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 11. — С. 20–27.
32. Кедров-Зихман О. К., Ярусов С. С. К перспективам известкования в III пятилетии // Химизация социалистического земледелия, 1939, № 1. — С. 14–24.
33. Прянишников Д. Н. Новые перспективы для развития туковой промышленности в третьем пятилетии // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 7. — С. 68–72.
34. Клечковский В. М. Академик Дмитрий Николаевич Прянишников (Биографический очерк). К 50-летию научной, педагогической и общественной деятельности академика Д.Н. Прянишникова // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 12. — С. 11–19.
35. Голубев Б. А. Д. Н. Прянишников и советская агрохимия // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 12. — С. 20–24.
36. Дикусар И. Г. Задачи советской агрохимии и акад. Д. Н. Прянишников // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 12. — С. 25–30.
37. Вольфович С. И. Д. Н. Прянишников и химическая промышленность // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 12. — С. 31–36.
38. Щерба С. В. Д. Н. Прянишников, как организатор и руководитель опытных полей НИУИФ // Химизация социалистического земледелия, 1938, № 12. — С. 37–41.
39. Прянишников Д. Н. О Тимирязеве // Химизация социалистического земледелия, 1940, № 4. — С. 9–13.
40. Д.Н. Прянишникову. Приветствия // Химизация социалистического земледелия, 1940, № 11–12. — С. 13–14.
41. Голубев Б. А. К 75-летию со дня рождения акад. Д. Н. Прянишникова // Химизация социалистического земледелия, 1940, № 11–12. — С. 14–16.
42. Голубев Б. А. 75 лет агрохимии в сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева // Химизация социалистического земледелия, 1941, № 1. — С. 5–15.

43. Кедров-Зихман О. К. Жизнь и деятельность Д.Н. Прянишникова // Удобрение и урожай, 1958, № 5. — С. 32–36.
44. Петербургский А. В. Основатель советской агрохимии // Химия в сельском хозяйстве, 1985, № 11. — С. 67–69.
45. Церлинг В. В. Д. Н. Прянишников — физиолог минерального питания растений // Химия в сельском хозяйстве, 1985, № 11. — С. 70–71.
46. Кидин В. В. Значение работ Д. Н. Прянишникова в развитии агрохимии (к 140-летию со дня рождения академика Д. Н. Прянишникова) // Агрохимический вестник, 2005, № 6. — С. 6–9.
47. Торшин С. П. К 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова // Агрохимический вестник, 2015, № 6. — С. 52–56.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ — ПУТЬ К ЭКОНОМИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

В. А. Родионов

*ФГБНУ Федеральный научный центр по кормопроизводству
и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, г. Лобня
E-mail.ru: vladirod@mail.ru*

Аннотация: В последнее время в научной литературе появились новые данные об удобрениях с пролонгированным действием. Применение различных пролонгированных удобрений, как правило, повышало продуктивность, биометрические показатели растений и качество продукции, как по сравнению с вариантом без удобрений, так и по сравнению с вариантом с традиционными удобрениями. Применение пролонгированной мочевины с полимерным покрытием ведёт к экономии питательных веществ в 1,5–2 раза и более, а применение пролонгированной мочевины с цеолитным покрытием ведёт к снижению вымывания азота в 4–5 раз, а урожайность увеличивается в 1,1–1,3 раза.

Ключевые слова: пролонгированные удобрения, азот, мочевина, аммиачная селитра, урожайность, цеолит

THE USE OF LONG-RELEASE FERTILIZERS IS THE WAY TO SAVING NUTRIENTS

V. A. Rodionov

*candidate of agricultural sciences, senior researcher, Federal Williams
Research Center of Forage Production and Agroecology, Lobnya
E-mail.ru: vladirod@mail.ru*

Summary: Recently, new data on prolonged-action fertilizers have appeared in scientific literature. The use of various slow-release fertilizers generally increased productivity, plant biometrics, and

product quality, both compared to the no-fertilizer option and compared to the traditional fertilizer option. The use of prolonged-release urea with a polymer coating leads to a saving of nutrients by 1.5–2 times or more, and the use of prolonged-release urea with a zeolite coating leads to a decrease in nitrogen leaching by 4–5 times, and the yield increases by 1.1–1.3 times.

Key words: slow-release fertilizers, nitrogen, urea, ammonium nitrate, yield, zeolite

В последние годы участились публикации про удобрения с медленным, а значит, пролонгированным высвобождением питательных веществ [1–3]. Разработка таких удобрений — актуальное направление для экологии и аграрного сектора [2]. Действие таких удобрений часто растягивается на 3–6 месяцев и зависит от свойств покрытия и выращиваемой культуры [1, 4]. При использовании традиционных удобрений, большая часть питательных веществ после выпадения осадков вымывается в недоступный для корней горизонт. Это приводит к негативным экологическим последствиям. Действие новых удобрений происходит за счёт оболочки. Удобрения в ней исключают вымывание. За счёт этого сокращается загрязнение почвенной и воздушной среды [1]. Такие удобрения чаще вносят однократно, а это ведёт к сокращению количества выездов в поле техники, расхода ГСМ и трудозатрат [1, 5]. Липина А. Г. и Липина А. А. (2022) относят к такому типу удобрений, мочевины, покрытую синтетическими полимерами или серой [4]. В 2004 г. в России Багдасаровым В. Р. и др. [6] было изобретено азотно-цеолитовое удобрение. Оно содержит аммиачную селитру или карбамид и цеолитсодержащую добавку. Эта добавка повышает урожайность и снижает дозу азота [6]. По данным Белоусова И. Е. и Кремзина Н. М. (2017) [7] она оказывает пролонгирующее действие на азотный режим почвы (содержание NH_4^+ и NO_3^- в ней было выше при внесении цеолита под рис и культуры рисового севооборота). Цеолит повышает обеспеченность растений N [7]. Удобрение с цеолитом часто выпускается под маркой «Карбамид Гео». Благодаря ему, вымывание N уменьшается в 4–5 раз, а усвоение питательных веществ увеличивается на 30 % [8].

Таблица 1 — Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применяемых доз и видов минеральных удобрений, т/га

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средняя
Контроль	5,81	5,40	4,24	5,15
Аммиачная селитра N ₈₀	6,25	6,02	4,61	5,66
Карбамид N ₈₀	6,38	5,98	4,87	5,74
Ruscote N ₈₀	6,61	6,36	4,78	5,92
Ruscote N ₆₀	6,81	6,36	4,97	6,05
Ruscote N ₅₀	6,62	5,87	4,87	5,79
Ruscote N ₄₀	6,72	5,88	4,79	5,79
Ruscote N ₃₀	6,52	6,02	4,74	5,76
НСП ₀₅	0,24	0,28	0,27	0,24–0,28

Обратимся теперь к результатам исследований с пролонгированной мочевиной проведённых на некоторых сельскохозяйственных культурах.

По данным Мнатсакяна А. А. и др. (2023) [1] при выращивании кукурузы на зерно в условиях Краснодарского края доза пролонгированной мочевины с полимерным покрытием Ruscote 30–50 кг д.в. на 1 га азота приравнивается, по урожайности, к дозам N₈₀ обычной мочевины или аммиачной селитры (т.е. в 2 раза меньшая доза пролонгированного удобрения равна по эффективности дозе N₈₀ традиционного удобрения) (таблица 1). Максимальная же урожайность получена при дозе в 1,5 раза меньшей (60 кг/га Ruscote) по сравнению с дозой традиционного удобрения (80 кг/га). Увеличение дозы Ruscote до дозы равной дозе традиционного удобрения (80 кг/га) приводило к снижению урожайности [1].

В другом опыте на сое у тех же авторов [3] применение дозы Ruscote в 1,7–3,0 раза (N_{10–20}) меньшей дозы по сравнению с N₃₀ обычного карбамида или аммиачной селитры давало более лучший эффект по урожайности семян (3,35–3,38 т/га) (таблица 2). Максимальный эффект достигнут на дозе N₃₀ Ruscote (3,43 т/га). Увеличение дозы пролонгированного удобрения в 1,5 раза — до N₄₅ привело к снижению урожайности семян сои до 3,28 т/га [3].

Таблица 2 — Урожайность семян сои в зависимости от видов и доз минеральных удобрений, т/га

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средняя
Контроль	2,92	3,04	2,85	2,94
N ₃₀ (аммиачная селитра)	3,16	3,26	3,23	3,22
N ₃₀ (обычный карбамид)	3,30	3,20	3,24	3,25
N ₁₀ (Ruscote)	3,43	3,30	3,24	3,35
N ₁₅ (Ruscote)	3,43	3,30	3,33	3,35
N ₂₀ (Ruscote)	3,43	3,32	3,39	3,38
N ₃₀ (Ruscote)	3,43	3,38	3,47	3,43
N ₄₅ (Ruscote)	3,34	3,16	3,34	3,28
НСП ₀₅	0,12	0,12	0,12	0,09

Таблица 3 — Урожайность озимой пшеницы в среднем за 2020–2021 г.г., т/га

№ п/п	Вариант	Урожайность, т/га	Урожайность, +/- к контролю	
			т/га	%
1	Контроль	5,71	—	—
2	N ₃₅ P ₉₀ K ₆₀ + N ₈₀ + N ₈₀	6,68	+ 0,97	+ 17,0
3	Ruscote — N ₁₉₅ P ₉₀ K ₆₀	6,86	+ 1,15	+ 20,1
4	Ruscote — N ₁₄₅ P ₉₀ K ₆₀	7,23	+ 1,52	+ 26,6
5	Ruscote — N ₁₀₀ P ₉₀ K ₆₀	7,23	+ 1,52	+ 26,6
НСП ₀₅		0,29	—	—

Таблица 4 — Урожайность озимой пшеницы в зависимости от применяемых доз и видов удобрений, т/га

Вариант	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя
Контроль	5,03	5,71	5,87	5,54
N ₃₅ P ₉₀ K ₆₀ + N ₇₀ + N ₇₀ + N ₂₀	5,84	6,42	8,03	6,76
N ₃₅ P ₉₀ K ₆₀ + N ₈₀ + N ₈₀	6,31	6,68	7,77	6,92
Ruscote — N ₁₀₀ P ₉₀ K ₆₀	7,06	7,23	7,08	7,12
Ruscote — N ₁₄₅ P ₉₀ K ₆₀	7,34	7,23	7,94	7,50
Ruscote — N ₁₉₅ P ₉₀ K ₆₀	6,75	6,86	7,95	7,19
НСП ₀₅	0,22	0,22	0,29	0,30

Таблица 5 — Урожайность сои в зависимости от доз удобрений в 2019, 2020 г.г., т/га

№ п/п	Вариант	Урожайность, т/га	Урожайность, +/- к контролю	
			т/га	%
2019 год				
1	контроль (без удобрений)	2,07	–	–
2	цеолит, 500 кг/га	2,19	+0,12	+6
3	цеолит обогащённый аминокислотами, 500 кг/га	2,36	+0,30	+14
4	цеолит, 500 кг/га + N ₄₀ (в форме мочевины)	2,31	+0,24	+12
НСП ₀₅		0,28		
2020 год				
1	контроль	1,47	–	–
2	цеолит, 250 кг/га	1,62	+0,15	+10
3	цеолит, 500 кг/га	1,67	+0,20	+14
4	цеолит обогащённый аминокислотами, 250 кг/га	1,65	+0,18	+12
5	цеолит обогащённый аминокислотами, 500 кг/га	1,76	+0,29	+20
6	цеолит обогащённый мочевиной, 250 кг/га	1,83	+0,36	+24
7	цеолит обогащённый мочевиной, 500 кг/га	1,93	+0,46	+31
8	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	2,09	+0,62	+42
НСП ₀₅		0,22		

Таблица 6 — Содержание макро- и микроэлементов в листьях чёрной смородины

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
	%			мг/кг	
Контроль	1,7±0,01	0,9±0,01	2,1±0,04	16,4±1,51	3,1±0,70
NPK	2,2±0,05	0,5±0,05	1,3±0,15	18,3±0,93	4,1±2,23
Osmocote	2,2±0,03	0,5±0,03	1,5±0,03	18,8±0,18	4,2±1,29
Ruscote	2,4±0,01	0,7±0,05	1,9±0,01	22,8±0,05	3,1±0,60

На озимой пшенице доза медленнодействующего азотного удобрения в 1,5–2,0 раза меньшая (N_{100–145}P₉₀K₆₀), чем максимальная (N₁₉₅P₉₀K₆₀) также давала наилучший эффект (7,23 т/га) по сравнению с 6,68 и 6,86 т/га (при внесении N₁₉₅P₉₀K₆₀) внесённых соответственно дробно и разово (таблица 3) [9].

В ходе ещё одного исследования [5] на озимой пшенице однократное применение Ruscote ((N₁₉₅) + P₉₀K₆₀) увеличивало урожайность этой культуры до 7,2 т/га (таблица 4). Увеличение произошло в сравнении с 3-х (6,9 т/га) и 4-х (6,8 т/га) кратным внесением азота обычной аммиачной селитры. Но максимальных значений урожайность озимой пшеницы достигла при сокращении дозы пролонгированного удобрения в 1,5 раза (до N₁₄₅P₉₀K₆₀) — 7,5 т/га. Снижение дозы азота до 100 кг/га, т.е. примерно в 2 раза от максимальной (N₁₉₅) уже не даёт такой прибавки урожая, как при N₁₄₅, но находится на уровне урожая, как при N₁₉₅ (7,1 т/га) [5].

Применение цеолита обогащённого карбамидом на сое привело к росту урожайности на 12–31 % (таблица 5) и улучшению её качества [10].

Ряд авторов — Почтенная А.И. и др. (2023) [11] считают, что применение пролонгированных удобрений — важный приём интенсификации ягодной отрасли. Применение, как обычных удобрений, так и удобрений с контролируемым высвобождением — Osmocote и Ruscote под чёрную смородину не приводило к возникновению отрицательного баланса макроэлементов почвогрунта, но зато обеспечивало положительный баланс в содержании в почве подвижной формы Cu. Баланс по Zn был отрицательным на всех вариантах опыта. Применение Ruscote позволило повысить содержание N–NO₃, подвижных форм P₂O₅ и K₂O в почвогрунте эффективнее, чем удобрение Osmocote. Оптимальное содержание макроэлементов в листьях чёрной смородины было достигнуто только при применении пролонгированного удобрения Ruscote: более высокое содержание NPK в листьях, чем при применении обычных удобрений и Osmocote (таблица 6). Высокое содержание Zn в листьях этой культуры было при применении Ruscote. Оптимум в накоплении Cu обеспечивался только при применении Osmocote и обычных удобрений [11].

Таблица 7 — Показатели развития маточных растений земляники садовой при доращивании на субстрате с внесением удобрений пролонгированного действия на 180 сутки выращивания

Вид удобрения (фактор А)	Сорт (фактор В)		Среднее по фактору
	Karmen ± SD	Junija smajds ± SD	
Среднее количество рожков на маточном растении, шт.			
Без удобрений (контроль)	1,6±0,70	1,5±0,50	1,6
Pg mix (эталон)	2,2±0,90	3,8±1,34 a,b	3,0
FertiPro Gran 1M	2,3±0,76	2,5±0,76 a,b	2,2
Ruscote 5–6M	2,8±2,07 a	4,6±1,32 a,b,ab	3,7
Basacote Plus 6M	2,6±1,11 a	3,9±1,26 a,b	3,3
Среднее по фактору В HCP ₀₅ b = 0,53	2,2	3,3	HCP ₀₅ a = 0,99
HCP ₀₅ ab = 1,67 для сравнения частных средних			
Среднее количество усов на маточных растениях, шт.			
Без удобрений (контроль)	2,6±2,50	3,9±1,27 b	3,3
Pg mix (эталон)	7,3±2,66 a	7,3±2,17 a	7,3
FertiPro Gran 1M	9,8±1,88 a	9,1±2,66 a	9,5
Ruscote 5–6M	6,5±4,59 a	9,9±3,52 a,b	8,2
Basacote Plus 6M	8,3±2,49 a	9,6±3,28 a,b	9,0
Среднее по фактору В HCP ₀₅ b = 1,27	6,9	8,0	HCP ₀₅ a = 2,38
HCP ₀₅ ab = 4,00 для сравнения частных средних			
Среднее количество розеток на маточных растениях, шт.			
Без удобрений (контроль)	6,9±7,25	13,0±3,84 b	10,0
Pg mix (эталон)	18,9±10,02 a	17,8±5,08 a	18,4
FertiPro Gran 1M	24,5±6,49 a	29,1±7,77 a,b	26,8
Ruscote 5–6M	16,5±9,50 a	24,8±10,73 a,b	20,7
Basacote Plus 6M	22,2±7,05 a	24,8±9,50 a	23,5
Среднее по фактору В HCP ₀₅ b = 3,58	17,8	21,9	HCP ₀₅ a = 6,68
HCP ₀₅ ab = 11,24 для сравнения частных средних			

НСР₀₅ рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа.

* Результаты выражены как среднее значение ± стандартное отклонение.

** «a, b, ab» — разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с НСР на 5 % уровне значимости: «a» — по фактору, а (вид удобрения), «b» — по фактору b (сорт), «ab» — при взаимодействии факторов.

В статье Акимовой С.В. и др. (2022) [12] объектами исследований служили *ex vitro* растения земляники садовой. Установлена, эффективность внесения пролонгированных удобрений FertiPro Gran 1M со структурой NPK 6-6-22 + 6 % Fe (срок действия 1 месяц), Ruscote 5–6M со структурой NPK 8-9-23 + 6 % MgO + микроэлементы (срок действия 5–6 месяцев) и Basacote Plus 6M со структурой NPK16-8-12 + микроэлементы (срок действия 6 месяцев) в торфяной субстрат с добавлением стартового удобрения Pg mix (со структурой NPK 14-16-18 + микроэлементы (срок действия 5–6 месяцев) (таблица 7). Это позволило на 180 сутки выращивания в 2,3–3,8 раза увеличить количество усов и в 1,9–3,5 раза розеток по сравнению с контролем без удобрений. Лучший прирост количества усов и розеток от пролонгированных удобрений показал сорт Karmen, а худший — Junija smajds [12].

В результате проведенных Гордюшкиной и др. (2024) [13] исследований выявлено, что использование комплексных пролонгированных удобрений (Bona Forte с микроэлементами (Bona Forte, Россия) (со структурой NPK 15-15-15 + магний + сера + микроэлементы в хелатной форме), универсальное гранулированное пролонгированного действия с биодоступным кремнием Ceolong Blue Bona Forte Professional (Bona Forte, Россия) (со структурой NPK 7,5–7,5–7,5 + Si — 20 %, Mg — 0,3 %, Ca — 0,25 %; микроэлементы (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo в хелатной форме) + комплекс витаминов (B₁, B₆, B₁₂, PP, C); янтарная кислота), экспериментальное гранулированное минеральное удобрение в оболочке пролонгированного действия Bona Forte (Bona Forte, Россия) (со структурой NPK 15-15-15 + магний 2 %), гранулированное минеральное удобрение пролонгированного действия в полимерной оболочке Osmocote Exact Standart (Osmocote, Нидерланды) (со структурой NPK 16-9-12 + магний 2 % + микроэлементы), гранулированное минеральное удобрение пролонгированного действия в полимерной оболочке FertiPro Ruscote (ФлораЛайф, Россия) (со структурой NPK 18-8-16 + магний — 2,8 % + микроэлементы)) оказывало умеренное влияние на плотность травостоя и декоративность рулонного газона, состоящего из мятлика лугового. Эти удобрения рекомендовано применять в течение первых 2 лет после создания такого газона. С 3-го года

эксплуатации общая декоративность травостоя стала одинаковой вне зависимости от внесения комплексных минеральных удобрений, которые не влияли и на плотность травостоя злаков. Рекомендовано применение комплексных минеральных удобрений современного поколения в первые 2 года после создания рулонного газона, таких как Bona Forte с микроэлементами, Ceolong Blue Bona Forte Professional, а также Osmocote Exact Standart. С 3 года эксплуатации внесение комплексных пролонгированных минеральных удобрений можно упразднить при условии контроля продуктивности побегообразования и проведения регулярной комплексной оценки декоративности газона [13].

Выводы:

1. Применение различных пролонгированных удобрений, как правило, повышало продуктивность, биометрические показатели растений и качество продукции, как по сравнению с вариантом без удобрений, так и по сравнению с вариантом с традиционными удобрениями (в последнем случае от пролонгированных удобрений увеличивалась только урожайность сои и достигало оптимума содержание макроэлементов в листьях чёрной смородины).

2. Применение пролонгированной мочевины с полимерным покрытием ведёт к экономии питательных веществ в 1,5–2 раза и более, урожайность увеличивается в 1,1 раза.

3. Применение пролонгированной мочевины с цеолитным покрытием ведёт к снижению вымывания азота в 4–5 раз, усвоение питательных веществ при этом увеличивается на 30 %, а урожайность — в 1,1–1,3 раза.

Список литературы

- Мнатсаканян А. А., Чуварлеева Г. В., Волкова А. С., Петелин И. С. Действие удобрения с контролируемым высвобождением Ruscote на продуктивность кукурузы в условиях Центральной Зоны Краснодарского края // Плодородие. — 2023. — № 5. — с. 33–38.
- Максимов П. Н., Локтева В. Ю., Кутугин В. А., Рудмин М. А. Гранулирование нанокомпозитов на основе глауконита и мочевины: связующие материалы и характеристика активированных минеральных удобрений // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т. 334. — № 12. — с. 171–179.
- Мнатсаканян А. А., Чуварлеева Г. В., Волкова А. С., Петелин И. С. Применение удобрений длительного периода действия при выращивании сои в условиях Краснодарского края // Достижения науки и техники АПК. — 2023. — Т. 37. — № 7. — с. 24–28.
- Липин А. Г., Липин А. А. Кинетика высвобождения азота из гранул мочевины с полимерным покрытием // Изв. Вузов. Химия и хим. Технология. — 2022. — Т. 65. — Вып. 7. — с. 100–106.
- Мнатсаканян А. А. Пролонгированные удобрения в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях Краснодарского края // Земледелие. — 2023. — № 3. — с. 27–31.
- Патент № 2222514 С2 Российская Федерация, МПК C05C 1/00, C05C 9/00. азотно-цеолитовое удобрение пролонгированного действия : № 2002108384/15 : заявл. 04.04.2002 : опубл. 27.01.2004 / В. Р. Багдасаров, А. А. Казаченко, М. К. Рустамбеков [и др.] ; заявитель Промышленная группа "Алсико". <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37935281>. (дата обращения: 18.07.2025).
- Белоусов И. Е., Кремзин Н. М. Влияние цеолита и его последствие на азотный режим почвы и урожайность культур рисового севооборота // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования : II международная научно-практическая интернет-конференция, с. Соленое Займище, 28 февраля 2017 года / ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия». — с. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. — с. 943–949.
- Яндекс Маркет: [сайт]. — 2025. URL: <https://market.yandex.ru/product-karbamid-geo-udobrenie-universalnoe-azotnoe-dlia-komnatnykh-rastenii-rassady-i-ovoshchei-mochevina-s-tseolitom-1-kg/69025050> (дата обращения: 14.05.2025). — Текст : электронный.
- Мнатсаканян А. А., Чуварлеева Г. В., Волкова А. С., Петелин И. С. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений пролонгированного действия // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях меняющегося климата: Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 08–09 июня 2023 года / МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РИСА». — Краснодар: ИП Струльчанина В. И., 2023. — с. 113–116.

10. Куликова А. Х., Захаров Н. Г., Хайртдинова Н. А. Цеолиты и удобрения на его основе в технологии возделывания сои в лесостепи Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2021. — № 2 (54). — с. 88–94.
11. Почтенная А. И., Пашкевич Е. Б. Влияние удобрений в полимерной оболочке на чёрную смородину (*Ribes nigrum* L.) // Современные проблемы биологии, химии, экологии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Ярославль, 17–21 октября 2023 года / Сост. С. Н. Леднев. — Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2023. — с. 30–33.
12. Акимова С. В., Мацнева А. Е., Марченко Л. А., Соловьёв А. В., Зубков А. В., Буланов А. Е., Аркаев Д. С. Применение удобрений пролонгированного действия при выращивании рассады земляники садовой // Овощи России. — 2022. — № 6. — с. 83–89.
13. Гордюшкина К. М., Чудецкий А. И., Макаров С. С., Антонов А. М. Влияние комплексных удобрений на декоративность рулонного газона в условиях Москвы // Лесохозяйственная информация. — 2024. — № 4. — с. 76–84.

УДК 574:577.346:631.8:631.4

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Н. И. Санжарова, О. А. Шубина

*НИЦ «Курчатовский институт» — ВНИИРАЭ, Обнинск
natsan2004@mail.ru, olga76shu@yandex.ru*

Аннотация. Описаны этапы развития радиоэкологических исследований в сельском хозяйстве, выделение которых связано с загрязнением территорий после ядерных испытаний и крупных радиационных аварий. Определены основные направления радиоэкологических исследований по миграции радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs) в аграрных экосистемах. Представлены данные об эффективности применения агрохимических мероприятий для снижения накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в зоне аварий на Южном Урале и Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: радионуклиды, миграция, радиоэкология, агрохимия, агромелиоранты, реабилитация

RADIOECOLOGICAL BASES OF AGROCHEMICAL MEASURES FOR REHABILITATION OF AGRICULTURAL LAND

N. I. Sanzharova, O. A. Shubina

*NRC «Kurchatov Institute» — RIRAE, Obninsk
natsan2004@mail.ru, olga76shu@yandex.ru*

The stages of development of radioecological studies in agriculture have been described, and their selection is related to the contamination of territories after nuclear tests and major radiation accidents. The main directions of radioecological studies on the migration of radionuclides (^{90}Sr , ^{137}Cs) in agricultural ecosystems are identified.

The article presents data on the effectiveness of agrochemical measures to reduce the accumulation of radionuclides in agricultural products in the area of accidents in the Southern Urals and the Chernobyl Nuclear Power Plant.

Keywords: radionuclides, migration, radioecology, agrochemistry, agromeliorants, rehabilitation

Введение. Глобальное и локальное загрязнение окружающей среды радионуклидами в результате ядерных испытаний и крупных радиационных аварий определило необходимость прогнозирования последствий радиационного воздействия и разработки систем защитных и реабилитационных мероприятий. Опыт ликвидации радиационных аварий показал, что сельское хозяйство является одним из наиболее уязвимых секторов экономики, т.к. масштабные последствия оказывают воздействие как на обеспечение продовольствием, так и развитие производства, инвестиционную привлекательность регионов, социально-демографические процессы на пострадавших территориях.

Поступление радионуклидов в окружающую среду приводит к их миграции по сельскохозяйственным цепочкам в системе радиоактивные выбросы — почва — растения — животные — пищевые продукты и формированию источника дополнительного внутреннего облучения человека. Изучение закономерностей поведения радионуклидов в аграрных экосистемах относится в основном научным задачам сельскохозяйственной радиоэкологии. В практическом плане радиоэкологические исследования являются основой для разработки мероприятий по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и далее рацион питания населения, и обоснования систем ведения сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения [1].

Развитие сельскохозяйственной радиоэкологии. В СССР реализация Атомного проекта явилась одной из причин создания ряда специализированных лабораторий для проведения исследований. Развитие сельскохозяйственной радиоэкологии непосредственно связано с именами академика И.В. Курчатова — руководителя Атомного проекта и академика Д. Н. Прянишникова —

заведующего кафедрой агрономической и биологической химии при Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева (ТСХА), при которой 27 декабря 1946 г. создается Биофизической лаборатории (БФЛ). На должность руководителя назначается В.М. Ключковский — ученик Д. Н. Прянишникова. Научная деятельность академика В.М. Ключковского была связана с двумя важнейшими направлениями — агрономическая химия и радиационная экология. В области агрономических исследований он особое внимание он уделял изучению сложных взаимоотношений между почвой, растением и удобрением. Применение изотопных индикаторов заняли одно их важных мест в работах коллектива во главе с В.М. Ключковским, который отмечал «Мы сможем успешно двигаться вперед, если сумеем взять от новой атомной техники в агрономию все то, что она способна дать для более глубокого понимания существа изучаемых этой наукой явлений и процессов, для придания большей точности и объективности наблюдениям и экспериментам» [2]. В БФЛ детальные исследования были развернуты по следующим направлениям: почвенная химия радиоактивных продуктов ядерного деления и применение метода изотопных индикаторов в агрохимии; изучение поведения продуктов деления в системе почва-растение; изучение действия на растения излучений; разработка методов измерения радиоактивности. Впервые проведены исследования по накоплению радиоактивных продуктов деления сельскохозяйственными культурами, что явились основой для разработки агрохимических мероприятий по снижению накопления радионуклидов в урожае. В 1956 году появляется первая публикация по сельскохозяйственной радиоэкологии [3].

Результаты исследований в области сельскохозяйственной радиоэкологии были востребованы в период ликвидации аварии на Южном Урале (1957 г.). Ситуация требовала срочной разработки контрмер для безопасного ведения сельского хозяйства. В 1958 году была создана Опытной научно-исследовательской станции (ОНИС). Научным руководителем работ назначен В. М. Ключковский, который определил две основные задачи: реабилитация сельскохозяйственных земель и их возврат в хозяйственное использование; оценка последствия выброса большого

количества радиоактивных веществ в условиях реальной аварийной ситуации. Было сформировано пять лабораторий, в том числе агрономическая и полевая сельскохозяйственная группа. Проведены исследования по миграции радионуклидов, их накоплению в компонентах аграрных экосистем, разработаны приемы реабилитации земель и подготовлены первые в мире рекомендации по ведению сельского и лесного хозяйства [4].

Радиоэкологические исследования и защитные мероприятия в зоне аварии на Южном Урале. Одним из важных аспектов проблемы реабилитации загрязненных земель является разработка защитных мероприятий, направленных на снижение подвижности радионуклидов и, как следствие, их накопления сельскохозяйственной продукцией. Среди приемов реабилитации загрязненных территорий важное место занимает применение агромерлиорантов, механизм действия которых связан с изменением свойств почв (кислотность, емкость катионного обмена, содержания конкурирующих катионов и т.д.). Закрепление в почвах ^{90}Sr , основного радионуклида радиоактивных выпадений, определялось поведением изотопного носителя — стабильного стронция, а также химического аналога неизотопного носителя — стабильного кальция (Ca^{2+}). Большая часть ^{90}Sr (60–90%) находится в почве в обменной форме [5]. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклида варьирует от 64 до 93% и определяется преимущественно содержанием илистой фракции и высокой сорбционной способностью глинистых минералов. Существенное влияние на накопление ^{90}Sr оказывают биологические особенности сельскохозяйственных культур [1].

Работы по реабилитации земель включали проведения комплекса мероприятий: специальная обработка почв; подбор сельскохозяйственных культур с минимальным накоплением радионуклидов; агротехнические и агрохимические мероприятия. Агрохимические приемы являются наиболее рациональными, т.к. не только гарантируют получение продукции с содержанием радионуклидов, соответствующим нормативным требованиям, но и обеспечивают сохранение плодородия почвы и повышение урожая сельскохозяйственных культур. В случае загрязнения территорий ^{90}Sr рекомендуется применение повышенных доз фосфорных

удобрений, что приводит к переводу доступных форм ^{90}Sr в малодоступные соединения. Эффективность такого приема в снижении накопления ^{90}Sr достигает 2–4 раз [1, 6]. Известкование является самым эффективным приемом снижения накопления ^{90}Sr растениями — кратность снижения составляет 2–4 раза в результате связывания ^{90}Sr в труднорастворимые формы соединений. Накопление ^{90}Sr в урожае сельскохозяйственных культур при внесении в бедные гумусом почвы органических удобрений уменьшается в 4,6–5,6 раза в зависимости от вида культур. Наибольший эффект уменьшения поглощения ^{90}Sr растениями наблюдается в случае совместного внесения в почву извести и органических удобрений — содержание ^{90}Sr в пшенице и горохе снижалось в 3–4 раза. В результате проведенных в зоне аварии на Южном Урале масштабных реабилитационных работ уже через 5–6 лет до 60–70% загрязненных сельскохозяйственных угодий была возвращена в хозяйственный оборот.

Радиоэкологические исследования и защитные мероприятия в зоне аварии на Чернобыльской АЭС. Авария на ЧАЭС определила необходимость проведения дополнительных радиоэкологических для изучения процессов взаимодействия радиоактивных выпадений с почвенно-растительным покровом, сорбция и фиксация радионуклидов в почвах, закономерности их накопления сельскохозяйственными культурами и миграции по пищевым цепочкам [7]. Основной вклад в решение проблем ликвидации аварии в сельском хозяйстве внесли специалисты, которые получили опыт в зоне аварии на Южном Урале. Многие из них были учениками и последователями выдающихся отечественных ученых Д. Н. Прянишникова и В.М. Ключковского.

Особенностью радиационной ситуации на сельскохозяйственных угодьях после аварии являлась динамичность радиационной обстановки в связи с присутствием коротко- и среднеживущих радионуклидов. В долгосрочной перспективе на территории России основной вклад в загрязнения вносит биологически подвижный ^{137}Cs . Характерной особенностью пострадавших регионов является распространение низкоплодородных песчаных и супесчаных почв. Агрохимические мероприятия на пахотных угодьях включали известкование и внесение минеральных удобрений.

Известкование на почвах с низкой кислотностью почв поддерживает реакцию почвенного раствора вблизи нейтральной, позволяя достичь снижения перехода ^{137}Cs в растения. На основании проведенных исследований дозы внесения мелиорантов были увеличены в среднем в 1,5 раза в зависимости от свойств почвы и вида культуры, и обеспечивали снижение накопления радионуклида в растениях в 1,5–4,0 раза. Эффективным агрохимическим приемом являлось применение минеральных удобрений, в первую очередь, калийных, снижающих переход радионуклида в растения от 2 до 20 раз [8]. Действие удобрений основано на уменьшении соотношения Cs:K в почвенном растворе и, как следствие, уменьшение перехода радионуклида в растения. Применение фосфорных удобрений требует учета как свойств почв, так и видовых особенностей растений. На кислых почвах наиболее эффективно применение фосфоритной муки. В максимальных случаях внесение повышенных доз фосфорных удобрений снижает поступление ^{137}Cs в растения на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах в 2–2,5 раза. Определено оптимальное соотношение элементов питания N:P:K 1:1,5:2. Благодаря проведению мероприятий, в первую очередь агрохимических, к началу 90-х годов был достигнут максимальный эффект по снижению содержания ^{137}Cs в продукции, в частности, зерно на большей части загрязненных территорий соответствовало допустимым требованиям [9].

Анализ опыта применения защитных и реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве убедительно показывает возможность существенно улучшить радиационную ситуацию и обеспечить производство продукции в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями. Своевременное применение защитных мероприятий является одним из важных факторов их эффективности. Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве являются эффективными и встраиваются в зональные системы ведения земледелия. Научной базой для разработки мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и далее рацион питания населения, являются радиоэкологические исследования.

Список литературы

1. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. М.: «Экология», 1992. — 400 с.
2. Ключковский В. М. Изотопы и излучения в агрономии // Доклады АН СССР, 1957. — № 3. — С. 3–21
3. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае: Сборник / Под ред. проф. В. М. Ключковского. Академия наук СССР. Москва, 1956. - 174 с.
4. Рекомендации по ведению сельского и лесного хозяйства при радиоактивном загрязнении внешней среды / Сост.: Е. А. Фёдоров, Г. Н. Романов, Б. С. Пристер и др. М., 1973. — 157 с.
5. Ключковский В. М., Федоров Е. А., Архипов Н. П., Романов Н. Г., Алексахин Р. М., Февралева Л. Т. Закономерности почвенного и аэрального поступления радиоактивного стронция в растения // Почвоведение, 1973. — № 5. — С. 38–47
6. Юдинцева Е. В., Гулякин И. В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. Москва: «Атомиздат», 1968. — 472 с.
7. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры/ Под ред. академика РАМН Л. А. Ильина, В. А. Губанова. Москва: ИздАТ, 2001. — 752 с.
8. Ратников А. Н., Алексахин Р. М., Жигарева Т. Л. В и др. Эффективность комплекса агромелиоративных мероприятий в снижении накопления ^{137}Cs в продукции растениеводства в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Агрохимия. 1992. № 9. С. 112–116
9. Российский национальный доклад 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986—2021/Под общей редакцией Л.А. Большова, ФГБУН ИБРАЭ РАН. М.: Академ-Принт, 2021. — 104 с.

**ВЛИЯНИЕ АЗОТНО-КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КУКУРУЗЫ,
ВЫРАЩИВАЕМОЙ НА ЗАФОСФАЧЕННОЙ
СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ**

В. И. Титова

*ФГБОУ ВО Нижегородский ГАТУ им. Л.Я. Флорентьева,
Россия, г. Н. Новгород, titovavi@yandex.ru*

Аннотация: Приведены результаты выращивания кукурузы в вегетационных опытах 2023–2024 гг. на светло-серой лесной почве при содержании подвижного фосфора в 250 мг/кг, 500 мг/кг и 750 мг/кг и влияния на её урожайность и качество продукции азотно-калийных удобрений. Установлено положительное влияние повышения уровня зафосфаченности почв и внесения НК-удобрений на наступление фаз развития кукурузы, формирование надземной стебле-лиственной фитомассы культуры, образование початков и зерна молочно-восковой спелости, накопление в урожае сырого протеина. Фиксировано снижение содержания подвижного фосфора в почве после уборки урожая кукурузы.

Ключевые слова: зафосфачивание; светло-серая лесная почва; аммиачная селитра; хлористый калий; кукуруза; урожайность; качество фитомассы

**EFFECT OF NITROGEN-POTASSIUM FERTILIZERS ON YIELD
AND QUALITY OF CORN CULTIVATED ON OVERPHOSPHATED
LIGHT-GRAY FOREST SOIL (ALFISOL)**

V.I. Titova

*Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Y.
Florentyev, Nizhny Novgorod, Russia, titovavi@yandex.ru*

Abstract: The results of corn cultivation in vegetation experiments conducted in 2023–2024 on light-gray forest soil with mobile

phosphorus content of 250 mg/kg, 500 mg/kg, and 750 mg/kg are presented, focusing on the influence of nitrogen-potassium (NK) fertilizers on crop yield and product quality. A positive effect of increased soil phosphorus levels and NK fertilizer application on corn development stages, aboveground stem-leaf phytomass formation, ear and grain formation at milk-wax maturity stage, and crude protein accumulation in the yield was established. A decrease in soil available phosphorus content after corn harvest was observed.

Keywords: overphosphated soils; light-gray forest soil (alfisol); ammonium nitrate; potassium chloride; corn; yield; phytomass quality

Во многих регионах нашей страны и мира в целом уже несколько десятилетий подряд фиксируется повышение содержания в почвах подвижных соединений фосфора до уровня, который может быть обозначен термином «зафосфачивание». Само понятие зафосфачивания было сформулировано А.В. Соколовым еще в шестидесятых годах прошлого столетия, в период его работ по оценке длительного внесения фосфорных удобрений на содержание в почве подвижных фосфатов. Причем признаки зафосфаченности — содержание подвижных фосфатов в почве выше концентрации, трактуемой по существующей классификации как «очень высокое содержание» (по методам Кирсанова, Чирикова и Мачигина — это 250 мг/кг) фиксируются при агрохимическом обследовании земель сельскохозяйственного назначения и в настоящее время. Например, в Омском Прииртышье такие земли занимают более 10% [1]. Почвы чайных плантаций, по свидетельству [2], до настоящего времени (2010–2020 гг.) сохраняют признаки зафосфачивания, т.е. содержание подвижных фосфатов на уровне от 700–800 до 900–1200 мг/кг (метод Ониани).

Ученые при этом отмечают, что на формирование фосфатного режима почвы большое влияние оказывает систематическое использование высоких доз фосфорсодержащих удобрений, стимулирующее увеличение содержания в почве минеральных фосфатов за счет процессов сорбции-десорбции, осаждения-растворения [3–7]. Более того, увеличению содержания в почве наиболее активных фракций фосфора (рыхлые и алюмофосфаты) и появлению признаков зафосфачивания, даже без увеличения

доз внесения фосфора в почву, способствует общее повышение степени антропогенной нагрузки в агроэкосистемах [8].

Большой вклад в изучение механизмов сорбции фосфат-ионов на природных сорбентах на основе полуторных окислов, деструкции минеральных и органо-минеральных соединений, сосредоточенных в кислых зафосфаченных почвах, внесен А.Ю. Кудеяровой [9,10]. Ею же установлена более выраженная (проявляющаяся в больших объемах) миграция фосфора полифосфатов и ортофосфатов в сравнении с ортофосфатами.

Однако повышение содержания в почве подвижных соединений фосфора исключительно как повышение её плодородия трактуется далеко не всегда, т.к. при превышении определенных границ концентрации этого элемента в почве повышается опасность миграции и вымывания соединений фосфора по её профилю и в сопредельные среды. Поэтому исследования на почвах с очень высоким содержанием подвижных фосфатов продолжаются и ныне как в разных государствах [11, 12], так и в нашей стране [13–17], а результаты одного из таких опытов приведены ниже.

Исследования проведены в Нижегородском ГАТУ им. Л. Я. Флорентьева, в вегетационных опытах закладки 2023 и 2024 гг., в 3-х кратной повторности, в сосудах Митчерлиха на 5 кг почвы, с гибридом кукурузы Обский 140 СВ. Он допущен к использованию в Нижегородской области, предназначен для выращивания на зеленую массу и початки. Семена кукурузы перед посевом были протравлены против комплекса вредителей и болезней препаратом Витавакс (д.в. карбоксим+тирам). Схема опыта приведена в таблице 1.

Опыт проведен на светло-серой лесной легкосуглинистой почве с разным, очень высоким, содержанием подвижного фосфора, привезенной из Богородского района Нижегородской области. Участки с заданным для опыта содержанием подвижного фосфора были найдены с использованием агрохимических картограмм хозяйства. Перед закладкой опыта образцы почв были проанализированы на основные агрохимические показатели согласно нормативным требованиям, результаты анализов приведены ниже.

Таблица 1 — Схема опыта

№	Содержание варианта	Обозначение
1	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 250 мг/кг	1. P-250
2	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 250 мг/кг + фоновое внесение N _{аа} и K _х в дозе N _{0,2} K _{0,2}	2. P-250 + NK
3	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 500 мг/кг	3. P-500
4	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 500 мг/кг + фоновое внесение N _{аа} и K _х в дозе N _{0,2} K _{0,2}	4. P-500 + NK
5	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 750 мг/кг	3. P-750
6	Почва с содержанием подвижных фосфатов в 750 мг/кг + фоновое внесение N _{аа} и K _х в дозе N _{0,2} K _{0,2}	4. P-750 + NK

Удобрения в виде аммиачной селитры и хлористого калия (NK-удобрения) в дозе по 0,2 г азота и калия в расчёте на 1 кг почвы были внесены в вариантах 2, 4 и 6 при набивке сосудов во всю массу почвы. Контрольным вариантом в опыте принят вариант 1, где растения выращивали на почве с фоновым содержанием подвижных фосфатов на уровне 250 мг/кг, без дополнительного внесения азотно-калийных удобрений.

Целью опыта было изучение влияния азотно-калийных удобрений на урожайность кукурузы при её выращивании на зафосфаченной светло-серой лесной легкосуглинистой почве. Уровни зафосфаченности почвы оценивали по содержанию подвижного фосфора (по Кирсанову), для изучения были взяты 3 уровня: 250 мг/кг, 500 и 750 мг/кг. В задачи опыта входила также оценка влияния удобрений на наступление фаз вегетации, вещественный и элементный состав фитомассы кукурузы, вынос основных элементов питания урожаем, а также на изменение основных агрохимических показателей почвы и др.

Оценка влияния удобрений на наступление фаз развития растений кукурузы была выполнена в опыте 2023 года закладки, для чего отдельно были учтены температурные условия вегетационного периода культуры. Они показали, что период в начале

вегетации кукурузы (конец мая — до конца июня 2023 г.) характеризовался средними температурами за месяц ниже среднеголетних значений. Но с конца июля и весь август температура воздуха была выше среднеголетних значений, что положительно сказалось на развитии репродуктивных органов растений и созревании початков кукурузы. Воздух в зоне постановки опыта в августе был сухим, но, поскольку опыт был вегетационным и растения в опыте систематически поливали, на развитие растений отрицательного влияния это не оказало.

Данные по наступлению различных фаз вегетации растений кукурузы представлены в таблице 2.

При отслеживании фаз развития были выявлены некоторые особенности. Так, всходы кукурузы появились дружно на 3-й день после посева семян, что свидетельствует прежде всего о хорошем качестве семян. Период с начала фазы всходов и до появления первых очередных (настоящих) листьев продолжался 11–12 дней. При этом на контрольном варианте (P-250) фаза появления 3-го очередного листа наступила позднее других вариантов.

Таблица 2 — Влияние удобрений на наступление фаз развития растений

Фазы развития кукурузы	Варианты					
	P-250	P-250 + NK	P-500	P-500 + NK	P-750	P-750 + NK
Всходы	02.05	02.05	02.05	02.05	02.05	02.05
Развитие 3-го листа	14.06	14.06	13.06	13.06	13.06	13.06
Развитие 9-го листа	01.07	01.07	30.06	28.06	29.06	27.06
Вытягивание стебля	13.07	11.07	03.07	01.07	01.07	30.06
Трубкавание стебля	21.07	20.07	08.07	06.07	07.07	06.07
Образование метелок	07.08	05.08	11.07	10.07	10.07	10.07
Выбрасывание метелок	13.08	11.08	15.07	15.07	15.07	15.07
Начало цветения початков	-	-	20.07	20.07	20.07	20.07
Молочная спелость зерна	-	-	28.08	28.08	28.08	27.08
Ранняя восковая спелость	-	-	15.09	15.09	14.09	14.09

Таблица 3 — Влияние удобрений на высоту растений и урожайность надземной фитомассы, среднее за 2023–2024 гг., возд. сух. в-во

Варианты опыта	Высота растений, см			Урожайность общей надземной фитомассы, г / сосуд		
	факт	± от		факт	± от	
		фосфора*	NK**		фосфора*	NK**
1. P-250	65,7	-	-	284	-	-
2. P-250 + NK	77,8	-	12,1 / 18	392	-	108 / 38
3. P-500	116,6	50,9 / 77	-	406	122 / 43	-
4. P-500 + NK	139,1	-	22,5 / 19	554	-	148 / 36
5. P-750	140,2	74,5 / 113	-	638	354 / 125	-
6. P-750 + NK	172,1	-	31,9 / 23	789	-	151 / 24
HCP ₀₅	18,2			51		

Примечание: * — к вар. 1; ** — к фоновому варианту без внесения NK-удобрений. В числителе — в единицах измерения показателя, в знаменателе — в % к соответствующему варианту.

Следующие очередные листья появлялись через каждые 3–5 дней, но фаза 9-го очередного листа быстрее всего наступила в варианте с содержанием подвижных фосфатов в 750 мг/кг, а позже всех — в контрольном варианте. Азотно-калийные удобрений на пару дней ускорили появление листьев на почве с содержанием подвижных фосфатов в 500 и 750 мг/кг.

Растения контрольного варианта развивались слабее всех, фаза выбрасывания метелок наступила на месяц позже в сравнении с другими вариантами и не завершилась образованием початков. Азотно-калийные удобрения на этом фоне ускоряли наступление фаз развития на 1–2 дня. На вариантах же с фоновым содержанием фосфатов в 500 и 750 мг/кг, начиная с фазы выбрасывания метелок, азотно-калийные удобрения не влияли на начало наступления следующих фаз развития.

Уборка кукурузы проведена на зеленую массу: в вариантах 1 и 2 — 3 сентября при заметном внешнем усыхании растений, а в вариантах 3 и 6 — 16 сентября при наступлении ранней восковой

спелости початков. Результаты учета высоты растений и общей надземной фитомассы культуры приведены в таблице 3.

Данные свидетельствуют, что содержание подвижных соединений фосфора в почве существенно влияет на определяемые показатели. При этом максимальный прирост растений в высоту отмечен при увеличении фосфатного фона вдвое (вар. 3 в сравнении с вар. 1). Применение удобрений под кукурузу при выращивании её на зафосфаченной почве также оказало влияние на рост растений в высоту: на фонах в 500 мг/кг и 750 мг/кг — статистически достоверное, а на фоне в 250 мг/кг — высокую тенденцию положительного влияния.

Сбор общей надземной массы кукурузы при повышении фона фосфора достоверно увеличился, причем повышение содержания фосфора в почве на 250 мг/кг сопровождалось прибавкой урожайности на 43% (вар. 3 к вар. 1) и даже 57% (вар. 5 к вар. 3). А вот от применения единой для всех вариантов дозы удобрений (по 0,2 г азота и калия в расчете на 1 кг почвы) прибавка урожайности с увеличением фона фосфора снижалась: с 38% на фоне фосфора в 250 мг/кг до 24% прибавки на фоне в 750 мг/кг. Возможно, что при повышении содержания фосфора в почве дозы азотного и калийного удобрения следует увеличить

В оба года выращивания в опыте на первых двух вариантах початки не были сформированы, хотя в 2024 году были отмечены некоторые зачатки початков. Но на вариантах 3–6 и початки, и зерно восковой спелости были получены, что отражено в таблице 4.

Судя по полученным данным, на массу початков основное влияние оказал фон фосфора в почве. При этом увеличение его вдвое, с 250 мг/кг до 500 мг/кг, позволило сформировать початки массой 112,9 г/сосуд, а следующее повышение содержания фосфора в почве еще на 250 мг/кг привело к дополнительному формированию початков — еще в 83,7 г/сосуд. Причем на этих вариантах было образовано и зерно (к уборке — восковой спелости), с достоверной прибавкой. Внесение азота и калия к получению дополнительной прибавки в образовании початков и синтезе зерна в них не привело, показана лишь слабая тенденция положительного влияния.

Таблица 4 — Влияние удобрений на структуру продуктивной части урожая кукурузы, среднее за 2023–2024 гг., возд. сух. в-во

Варианты опыта	Початки				Зерно		
	шт. / раст.	г / сосуд ¹	г / сосуд, ± от		г / сосуд	г / сосуд, ± от	
			P ₂ O ₅ [*]	NK ^{**}		P ₂ O ₅ [*]	NK ^{**}
1. P-250	-	-	-	-	-	-	-
2. P-250 + NK	-	-	-	-	-	-	-
3. P-500	4	112,9 / 28	-	-	54,6 / 13	-	-
4. P-500 + NK	4	140,4 / 25	-	27,5 / 24	64,3 / 12	-	9,7 / 18
5. P-750	5	196,6 / 31	83,7/74	-	97,5 / 15	42,9/79	-
6. P-750 + NK	5	230,9 / 29	-	34,3 / 17	103,3 / 13	-	5,8 / 6
HCP ₀₅		33,0			21,2		

Примечание: 1 — в знаменателе — % к общей биомассе;
* — к вар. 1; ** — к фоновому варианту без внесения NK-удобрений. В числителе — в единицах измерения показателя, в знаменателе — в % к соответствующему варианту.

В целом данные таблицы 4 показывают, что в благоприятных условиях вегетационного опыта, при поддержании влажности почвы за счет систематических поливов, контроле засоренности, соблюдении оптимального светового режима, оптимального гранулометрического состава почвы и легкого рыхления поверхностного слоя почвы, для формирования продуктивной части растений содержание фосфора в почве явилось весьма важным фактором. При этом на рост стебле-лиственной массы кукурузы азотно-калийные удобрения оказали существенное влияние (см. таблицу 3).

В таблице 5 приведены данные по содержанию в стебле-лиственной массе кукурузы (включая початки с зерном) сырого протеина и клетчатки.

По содержанию белковых веществ фитомассу кукурузы можно оценить как среднеобеспеченную, сравнивая их фактические значения со среднестатистическими и справочными значениями. Повышение содержания фосфора в почве с 250 мг/кг до 500 мг/кг положительно сказалось на содержании сырого протеи-

на в фитомассе, обеспечив прибавку в 9%, а следующее увеличение содержания фосфора еще на 250 мг/кг (вар. 5 к вар. 3) привело к получению дополнительной прибавки в 0,15% протеина, или 4%. Однако максимальный прирост содержания сырого протеина в листо-стебельной массе кукурузы обеспечили азотно-калийные удобрения. Однако положительный эффект от их использования снижался при повышении уровня зафосфаченности с 24% на фоне в 250 мг/кг до 11% прибавки — на фосфатном фоне в 750 мг/кг. Содержание клетчатки было максимальным на контрольном варианте, повышение содержания фосфатов в почве способствовало снижению её содержания в надземной фитомассе, равно как и внесение под кукурузу азотно-калийных удобрений.

После уборки урожая почва каждого варианта была оценена по всем основным агрохимическим показателям, что дало возможность оценить влияние культуры на их изменение. Учитывая, что в данном случае наиболее важным было выяснить, изменяется ли содержание подвижных фосфатов в почве после выращивания кукурузы, в таблице 6 приведены данные прежде всего по содержанию в почве фосфора.

Таблица 5 — Вещественный состав стебле-листовой массы кукурузы

Варианты опыта	Сырой протеин				Сырая клетчатка			
	% на сух.в-во			вынос, г/сосуд	% на сух.в-во			вынос, г/сосуд
	факт	+, - от ...			факт	+, - от ...		
		P ₂ O ₅ *	NK**			P ₂ O ₅ *	NK**	
1. P-250	3,68	-	-	10,45	22,3	-	-	63,33
2. P-250 + NK	4,55	-	0,87/24	17,84	21,8	-	-0,5 / 2	85,46
3. P-500	4,02	0,34/9	-	16,32	20,7	-1,6 / 7	-	84,04
4. P-500 + NK	4,64	-	0,62/15	25,70	19,5	-	-1,2 / 6	108,3
5. P-750	4,17	0,49/13	-	26,60	18,9	-3,4 / 15	-	120,58
6. P-750 + NK	4,62	-	0,45/11	36,45	18,4	-	-0,5 / 3	145,18
Справочное***	2,5-7,0				16-20			

* — Методические указания по оценке качества и питательности кормов / М.: ЦИНАО, 2002. — 76 с. (кукуруза, зеленый корм)

Таблица 6 — Содержанию подвижного фосфора в почве после проведения опыта, сентябрь 2023 г.

Варианты опыта	Начало опыта				P ₂ O ₅ на конец опыта	
	гумус, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	факт, мг/кг	+, - к началу опыта*
1. P-250	1,50	5,40	251	118	238	-13 / 5
2. P-250 + NK					236	-15 / 6
3. P-500	1,46	5,50	545	124	540	-5 / 1
4. P-500 + NK					533	-12 / 2
5. P-750	1,48	5,65	788	127	769	-19 / 2
6. P-750 + NK					770	-18 / 2

Примечание: * в числителе — мг/кг, в знаменателе — в %.

Данные свидетельствуют, что по содержанию подвижных соединений фосфора на дату закладки опыта почва была близка к тем значениям, которые явились основанием при выборе участков сельскохозяйственных земель для отбора почвы для закладки опытов, ориентируясь на агрохимические картограммы. Наибольшие расхождения отмечены для почвы, которая в опытах обозначена как фон с содержанием подвижных форм фосфора в 750 мг/кг.

После уборки опыта содержание подвижного фосфора в почве изменилось, т.е. снизилось, но строгих закономерностей при этом не выявлено. Наибольшее снижение отмечено на фоне с содержанием фосфора в 250 мг/кг, где оно составило 13–15 мг/кг (5–6% к первоначальному значению). В почве с изначальным содержанием фосфора в 500 мг/кг и 750 мг/кг (по факту — в 545 и 788 мг/кг) количественные потери фосфора сопоставимы со значением потерь в почве вариантов 1 и 2 (12–18 мг/кг), но относительно начального содержания потери много меньше — оценены в 1–2%.

Из чего следует предположение, что изменения в содержании подвижных соединений фосфора в почве с изначально много большими значениями зафосфаченности будут происходить медленно, а почва будет достаточно долго сохранять накопленный

потенциал подвижных фосфатов в почве. Положительный это вывод, или это фактор, который может в будущем стать опасным — в конкретном производстве зависит от множества других факторов, характеризующих участок территории, среди которых однозначно должны быть характеристики по физическим параметрам территории, характеристике почвы, занятости растениями и пр.

Внесение под кукурузу гибрида Обский 140 СВ, выращиваемую в вегетационном опыте с контролируемыми условиями влагообеспеченности, на светло-серой лесной почве с содержанием подвижных соединений фосфора на уровне 250 мг/кг, 500 и 750 мг/кг, азотно-калийных удобрений в виде аммиачной селитры и хлористого калия в дозе по 0,2 г азота и калия в расчете на 1 кг почвы, позволило сделать следующие **выводы**.

1. Использование НК-удобрений на 12–13 дней удлиняет период вегетации кукурузы, на 1–2 дня ускоряет наступление фаз развития культуры и позволяет сформировать початки, обеспечивая восковую спелость зерна.

2. Уровень зафосфаченности почвы положительно влияет не только на рост культуры в высоту — на фоне в 750 мг/кг увеличив высоту растений вдвое против фона в 250 мг/кг, но и на образование стебле-листового аппарата культуры и формирование початков, обеспечив прирост вегетативной массы в 43–125% и прирост продуктивной части урожая в 74–79% в сравнении с контрольным вариантом (Р-250).

3. Внесение азотно-калийных удобрений под кукурузу обеспечивает 18–23% прироста растений в высоту, увеличивая его на фоне с максимальным содержанием подвижных соединений фосфора, и способствует повышению урожайности общей надземной фитомассы культуры. Однако прибавка урожайности от НК-удобрений при этом на фоне с Р-750 ниже, чем на фоне Р-500 и Р-250, изменяясь в пределах 24–36% к соответствующему варианту, но без удобрений.

4. Максимальный прирост содержания сырого протеина в листо-стебельной массе кукурузы обеспечили азотно-калийные удобрения. Однако положительный эффект от их использования снижался при повышении уровня зафосфаченности с 24% на фоне в 250 мг/кг до 11 % прибавки — на фосфатном фоне в

750 мг/кг. Содержание клетчатки было максимальным на варианте Р-250, повышение содержания фосфатов в почве способствовало снижению её содержания в надземной фитомассе, равно как и внесение под кукурузу азотно-калийных удобрений.

5. После уборки опыта содержание подвижного фосфора в почве снизилось, максимально — на фоне с содержанием фосфора в 250 мг/кг (5–6% к первоначальному значению). На вариантах с большим уровнем зафосфаченности относительное снижение содержания подвижного фосфора было много меньшим (1–2% к начальному значению), хотя в действительных величинах снижение концентрации подвижного фосфора сопоставимо: 12–18 мг/кг за период вегетации культуры.

Список литературы

1. Красницкий В. М., Бобренко И. А., Шмидт А. Г., Матвейчик О. А. Динамика подвижного фосфора в почвах Лесостепи Западной Сибири / Плодородие. 2020. № 2. С. 57–60.
2. Козлова Н. В., Керимзаде В. В. Обеспеченность фосфором почв многолетних агроценозов чая в условиях влажных субтропиков России / Субтропическое и декоративное садоводство. 2022. № 83. С. 198–214.
3. Карпова Д. В., Чижикова Н. П., Колобова Н. А., Кононенко В. В. Анализ состояния фосфора в агросерых почвах Владимирского ополья / Агрохимический вестник. 2016. № 3. С. 15–19.
4. Козлова Н. В., Керимзаде В. В. Фосфатный режим бурых лесных кислых почв субтропиков РФ при эксплуатации чайных плантаций с различной нагрузкой удобрениями / Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 54. С. 246–253.
5. Rogova O. B., Kolobova N. A., Ivanov A. L. Phosphorus sorption capacity of gray forest soil as dependent on fertilization system / Eurasian Soil Science. 2018. V.51. № 5. P. 536–541.
6. Szara E., Sosulski T., Szymanska M. Soil phosphorus sorption properties in different fertilization systems / Plant soil and environment. 2019. V. 65 (2). P. 78–82.
7. Dutta A. K., Tamuly D. Effect of Soil Nutrient Management on P transformation under Protected Cultivation / Indian Journal of Agricultural Research. 2021. Vol. 55. № 3. P.257–264.

8. Наумченко Е. Т., Разумова К. Ю. Степень агрогенного воздействия на фосфатный режим луговой черноземовидной почвы / Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 40–43.
9. Кудеярова А. Ю. Направленность и механизмы трансформации сорбционных барьеров в кислых почвах при нагрузке фосфатами / Геохимия. 2013. № 4. С. 326–343.
10. Kudeyarova A. Y. Changes in the system of chemical bonds in gibbsite under the impact of $\text{nh}_4\text{h}_2\text{po}_4$ solutions of different concentrations / Eurasian Soil Science. 2016. V.49. P. 519–528.
11. Ahmed A., Elsheikh M., Mani V. Retationship between phosphorus fractions of some selected Sudanese soil orders to phosphate availability / Eurasian Journal of Soil Science. 2018. Vol.7. № 3. P. 224–229.
12. Yan P., Shen C., Fan L., Li X., Zhang L., Zhang L., Han W. Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil / Agriculture, Ecosystems & Environment. 2018. V. 254. P. 20–25.
13. Сушеница Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2007. 376 с.
14. Шафран С. А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений / Агрохимия. 2015. № 3. С. 26–33.
15. Лукманов А. А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан / Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 3–7.
16. Кирпичников Н. А. Последействие фосфорных удобрений на фосфатное состояние дерново-подзолистой почвы и урожайность озимой пшеницы при известковании / Плодородие. 2021. № 3(120). С. 49–51.
17. Лапушкин В. М., Муравьева О. А., Лапушкина А. А., Волкова М. А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы / Плодородие. 2022. № 3 (126). С. 6–12.

УДК 631.42:631.445.4

ПОЧВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АГРАРНОМ КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ (НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н. М. Троц

ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, г. Самара, troz_shi@mail.ru

Краткая аннотация. В статье приведены результаты исследований 1992–2023 гг. на тестовом полигоне ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» расположенного на территории Кинельского района Самарской области. На основании агрохимического анализа установлено, что за исследуемый период произошло незначительное подщелачивание почвенной среды за счет присутствия солей натрия, вследствие чего, почвы отнесены к солонцеватым. По химизму засоления почвы относятся к нейтральному типу засоления, pH раствора колеблется от 6,3 до 8,1. Наибольшее снижение в содержании органического вещества отмечается на всю мощность гумусового горизонта на площадках, где согласно севооборота почвы находились под посевами подсолнечника. Увеличение органического вещества отмечается на площадке, почвы которой введены в севооборот из залежных земель.

Ключевые слова: карбонный полигон, почвы, гумус, pH, подвижный фосфор, подвижный калий, засоление

SOIL MONITORING AS A COMPONENT OF RESEARCH AT THE AGRICULTURAL CARBON POLYGON (ON THE EXAMPLE OF THE SAMARA REGION)

N. M. Trots

Annotation. The article presents the results of research from 1992 to 2023 at the test site of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara Agrarian University" located in the Kinel'sky District of the Samara Region. Based on agro-

chemical analysis, it was found that during the study period, there was a slight alkalization of the soil environment due to the presence of sodium salts, as a result of which the soils are classified as solonchaks. According to the chemistry of salinization, the soils belong to the neutral type of salinization, the pH of the solution ranges from 6.3 to 8.1. The greatest decrease in the content of organic matter is noted for the entire thickness of the humus horizon on sites where, according to crop rotation, the soils were under sunflower crops. An increase in organic matter is noted on a site whose soils were introduced into crop rotation from fallow lands.

Keywords: carbon polygon, soils, humus, pH, mobile phosphorus, mobile potassium, salinization.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, (тема № 125031103482-0 от 11.03.25 г. Оценка эмиссии и стока парниковых газов, запасов почвенного углерода при применении практики традиционного и почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (2 этап)).

В атмосферных слоях нашей планеты существует множество явлений, напрямую влияющих на климатические условия Земли. Одним из таких явлений считается парниковый эффект, характеризующийся повышением температуры нижних атмосферных слоев Земли в сравнении с той температурой теплового излучения нашей планеты, которое можно наблюдать из космоса.

В последние 100 лет наблюдается стремительный рост содержания главных парниковых газов в атмосфере Земли, таких как углекислый газ, метан и закись азота, что является одной из причин роста температуры Земли. Увеличение уровня почвенного органического вещества может способствовать снижению углекислого газа, влияющего на изменение климата, поэтому особенно актуальными становятся разработки и испытания технологий природоохранного ресурсосберегающего земледелия на карбоновых полигонах [1–6].

Цель исследований: — оценка динамики содержания агрохимических показателей для проведения регулярного мониторинга и выявления факторов, влияющих на плодородие черноземных почв.

Мониторингу подвергались компоненты почвенной среды 5 площадках в границах тестового полигона ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» на территории Кинельского района Самарской области.

В процессе исследований проводился сбор данных почвенного обследования, анализ собранного материала, полевые работы с закладкой почвенных разрезов и отбором образцов, лабораторные исследования по общепринятым методикам [1].

В результате проделанной работы был собран фондовый материал по почвенному обследованию за 1992 г и 2002 г проведено обследование почв в 2022–2023 гг. Сопоставив все полученные сведения о почвенном покрове их распространении, наличие агрохимических показателей и описание морфологического строения почвенного профиля расположенных на полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» были выбраны показатели для мониторингового наблюдения за состоянием почв при применении технологий ПРЗ в условиях Среднего Поволжья с привязкой к тестовым площадкам.

Почвы на пяти мониторинговых площадках представлены черноземом обыкновенным, лугово-черноземного, солонцового и солончакового вида. Площадь сельскохозяйственных земель, включенная в границы исследования, составляет — 2170,90 га из них: под пахотными землями — 1176,65 га, залежные земли — 562,42 га, пастбищные угодья — 250,25 га, сенокосы заболоченные — 181,58 га.

В ходе мониторинговых наблюдений выполнены: отбор и подготовка необходимых исходных данных для проведения аналитического исследования; анализ выбранных исходных данных и их последующая структуризация; интерпретация полученных аналитических данных; подготовка выводов и рекомендаций на основании результатов проведенных исследований.

При выборе заложения мониторинговых площадок наряду с почвенной разновидностью учитывались: местоположение относительно рельефа местности, репрезентативное для данной территории, были заложены показатели разнообразия почвенных типов (черноземы); подтипов (обыкновенный), родов (остаточно-луговой, остаточно-луговой карбонатный), механического

состава (легкоглинистый, тяжелосуглинистый, среднесуглинистый); содержание гумуса в верхнем горизонте и его запаса; степень засоления, использование участков в севообороте, занимаемая площадь в процентном отношении; способ обработки почвы, степень освоенности [4–6].

Площадка 1. Почвенный покров — чернозем обыкновенный остаточно-луговатый солончаковатый слабозасоленный высокогумусный среднемощный легкосуглинистый, категория земель — земли сельскохозяйственного назначения, находится в обороте используется для выращивания сельскохозяйственных культур, система подготовки почвы классическая, по запасу гумуса в 0,20 см относился в 2022 г к высокому с содержанием 157 т/га, в 2023 г к среднему с содержанием — 145 т/га площадь почвенной разновидности составляет 5,8 % от почв полигона.

Площадка 2. Почвенный покров — чернозем обыкновенный остаточно-луговатый среднегумусный среднемощный среднесуглинистый, категория земель — земли сельскохозяйственного назначения, находится в обороте используется для выращивания сельскохозяйственных культур, система подготовки почвы классическая, по запасу гумуса в 0,20 см относится по показателям за 2 года (2022 г и 2023 г) к среднему с содержанием 106–146 т/га, площадь почвенной разновидности составляет 8,1 % от почв полигона.

Площадка 3. Почвенный покров — чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный высокогумусный среднемощный тяжело-суглинистый, категория земель — земли сельскохозяйственного назначения, находится в обороте используется для выращивания сельскохозяйственных культур, система подготовки почвы классическая, по запасу гумуса в 0,20 см относился в 2022 г к очень высокому с содержанием 220 т/га, однако в 2023 г за счет незначительного снижения содержания гумуса в пахотном горизонте к среднему с содержанием 136 т/га, площадь почвенной разновидности составляет 3,8% от почв полигона

Площадка 4. Почвенный покров — чернозем обыкновенный остаточно-луговатый солончаковатый слабозасоленный малогумусный среднемощный легкосуглинистый, категория земель — земли сельскохозяйственного назначения, не находится в обороте

залежь — естественная растительность, по запасу гумуса в 0,20 см относится по показателям за 2 года (2022 г и 2023 г) к среднему с содержанием 107–108 т/га, площадь почвенной разновидности составляет 5,2 % от почв полигона.

Площадка 5. Почвенный покров — чернозем обыкновенный остаточно-луговатый высокогумусный среднемощный легкоглинистый, категория земель — земли сельскохозяйственного назначения, введен в обороте после многолетней залежи и используется для выращивания сельскохозяйственных культур, система подготовки почвы — классическая, по запасу гумуса в 0,20 см относится по показателям за 2 года (2022 г и 2023 г) к высокому с содержанием 161–200 т/га, площадь почвенной разновидности составляет 5,7 % от почв полигона.

Результаты исследования. В содержании кислотных свойств рН (таблица 1) произошло незначительное подщелачивание почвенной среды до уровня 1992 года. Наибольшее подщелачивание произошло на мониторинговых площадках 1 и 4, где почвы отнесены к солонцеватым, продолжается процесс осолонцевания.

Произошло снижение в содержании органического вещества в виде гумуса до уровня 1992 года (таблица 2). Наибольшее снижение отмечается на всю мощность гумусового горизонта на мониторинговых площадках 2 и 3, где согласно севооборота участки находились под посевами подсолнечника. Незначительное увеличение отмечается на мониторинговой площадке 5 которая в 2023 году введена в севооборот из залежных земель. Снижение содержания гумуса отмечается на всю мощность гумусового горизонта на мониторинговых площадках 1 и 4, где наблюдается процесс дальнейшего развития осолонцевания.

Было проведено исследование почв на содержание в них подвижных форм фосфора и калия [7, 8]. Динамика изменения обеспеченности почв подвижным фосфором представлена в таблице 3. Четкой закономерности по обеспеченности мониторинговых площадок за периоды наблюдений не наблюдается. Колебание в пределах в основном высокой и очень высокой степени обеспеченности почв фосфором. Снижение концентрации фосфора выявлено за период 2022–2023 гг на 20–33 %.

Таблица 1 — Динамика изменения содержания кислотно-основных свойств почв аграрного карбонового полигона (Самарская область, Кинельский район)

Площадка	Почва	Глубина отбора, см	рН				Динамика изменения		
			1992	2002	2022	2023	1992-2002	2002-2022	2022-2023
1	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой солончаковатый слабозасоленный хлоридный среднегумусный среднемощный легкосуглинистый	0-15	6,9	7,0	6,32	7,5	+0,1	-0,68	+1,18
		30-40	7,1	-	5,76	-	-	-1,34	-
2	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой среднегумусный среднемощный среднесуглинистый	0-15	7,0	7,0	6,14	6,0	0	-0,86	+0,14
		30-45	7,4	-	6,20	-	-	-1,20	-
5	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой среднегумусный среднемощный легкосуглинистый	0-20	7,1	5,8	7,10	6,6	-1,30	+1,30	-0,5
4	Чернозем обыкновенный солончаковатый слабозасоленная хлоридная малогумусный среднемощный среднесуглинистый	05-20	6,5	6,3	5,98	7,0	+0,2	-0,32	+1,02
		30-45	6,7	-	6,32	-	-	-0,38	-
3	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой карбонатный тучный среднемощный тяжелосуглинистый	0-25	7,2	6,7	6,50	7,2	-0,50	-0,20	+0,7
		25-45	7,1	-	7,3	-	-	+0,20	-

Таблица 2 — Динамика изменения содержания гумуса в почвах аграрного карбонового полигона (Самарская область, Кинельский район)

Площадка	Почва	Глубина отбора, см	Содержание гумуса, %				Динамика изменения		
			1992	2002	2022	2023	1992-2002	2002-2022	2022-2023
1	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой солончаковатый слабозасоленный хлоридный среднегумусный среднемощный легкосуглинистый	0-15	6,0	4,1	8,1	6,3	-1,9	+4,0	-1,8
		30-40	5,4	-	6,3	5,4	-	+2,2	-0,9
		45-60	4,1	-	4,6	3,7	-	+0,5	-0,9
2	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой среднегумусный среднемощный среднесуглинистый	0-15	4,3	4,3	7,5	4,6	-0,1	+3,2	-2,9
		30-45	3,5	-	6,8	4,0	-	+3,3	-2,8
5	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой среднегумусный среднемощный легкосуглинистый	0-20	6,0	5,9	8,3	8,7	-0,1	+2,4	+0,5
		20-30	-	-	-	5,2	-	-	-
4	Чернозем обыкновенный солончаковатый слабозасоленная хлоридная малогумусный среднемощный среднесуглинистый	05-20	4,3	4,1	5,5	4,7	-0,2	+1,4	-0,8
		30-45	4,2	-	6,8	4,2	-	+2,6	-2,6
		50-60	2,5	-	3,0	-	-	+0,5	-
3	Чернозем обыкновенный остаточно-луговой карбонатный тучный среднемощный тяжелосуглинистый	0-25	5,0	4,8	11,4	6,2	-0,2	+6,6	-5,5
		25-45	4,7	-	9,8	5,9	-	+5,1	-3,9
		50-60	3,8	-	12,2	-	-	+8,4	-

Таблица 3 — Динамика изменения обеспеченности почв подвижным фосфором почв аграрного карбонового полигона (Самарская область, Кинельский район)

Площадка	Почва	Глубина отбора, см	Содержание подвижного фосфора, мг/кг по Чирикову			
			1992	2002	2022	2023
1	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый солончаковатый слабозасоленный хлоридный высокогумусный среднесуглинистый	0-22	122	148	163,2	110,0
		30-40	-	-	227,6	-
2	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый среднегумусный среднесуглинистый	0-22	79	85	235,7	187,2
		30-45	-	-	224,1	-
5	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднесуглинистый	0-20	-	-	-	231,5
4	Чернозем обыкновенный солончаковатый слабозасоленная хлоридная малогумусный среднесуглинистый	0-20	131	122	231,5	176,7
		30-45	-	-	201,8	-
3	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный тучный среднесуглинистый	0-25	-	172	244,7	195,8
		25-45	-	-	239,4	-

По обеспеченности почвы калием (таблица 4) наибольшее снижение произошло в почве, не используемой в севообороте под естественной растительностью (сенокос), на поле севооборота, где посевы озимой пшеницы возделывались по черному пару, наблюдается незначительное повышение.

Таблица 4 — Динамика изменения обеспеченности почв подвижным калием почв аграрного карбонового полигона (Самарская область, Кинельский район)

Площадка	Почва	Глубина отбора, см	Содержание подвижного калия, мг/кг по Чирикову			
			1992	2002	2022	2023
1	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый солончаковатый слабозасоленный хлоридный высокогумусный среднесуглинистый	0-22	305	143	53,2	95,9
		30-40	-	-	163,6	-
		45-60	-	-	86,5	-
2	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый среднегумусный среднесуглинистый	0-22	210	148	171,9	117,9
		30-45	-	-	36,9	-
		55-70	-	-	62,3	-
5	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднесуглинистый	0-20	108	130	106,6	56,2
4	Чернозем обыкновенный солончаковатый слабозасоленная хлоридная малогумусный среднесуглинистый	0-20	195	129	70,5	38,9
		30-45	145	-	59,5	-
		50-60	-	-	53,9	-
3	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный тучный среднесуглинистый	0-25	-	204	136,9	-
		25-45	-	-	53,5	-
		50-60	-	-	79,7	-

По химизму засоления (таблица 5) относительно значений pH все почвы относятся к нейтральному типу засоления, где pH <8,5 (колеблется от pH 6,3 до pH 8,1). По степени засоления с превышением порога токсичности по плотному остатку выявлены не во всех исследуемых образцах.

По типу засоления по соотношению анионов выделено 2 типа: хлоридный и хлоридно-сульфатный; по соотношению катионов выделено 2 типа: натриевый и натриево-кальциевый. В почвенном растворе преобладают соли хлоридного типа NaCl, CaCl₂ натриевого засоления и Na₂SO₄ сульфатного засоления.

По воздействию на растения наиболее угнетающее действие оказывают соли NaCl, менее угнетающее действие оказывают соли CaCl₂ и Na₂SO₄.

Таблица 5 — Классификация почв аграрного карбонового полигона (Самарская область, Кинельский район) по степени засоления

Глубина взятия образца, см	pH вод	Степень засоления		Разделение засоления по анионам		Разделение засоления по катионам	
		незасоленные почвы	слабозасоленные				
*Градация		$\leq 0,1$ $< 0,3$	$\frac{0,1-0,2}{0,3-0,9}$	по химизму засоления (отношение $Cl^- : SO_4^{2-} > 1$)	Тип (химизм) засоления	по химизму засоления (отношение $Na^+ : Ca^{2+} > 1$)	Тип (химизм) засоления
Площадка 1							
0-15	7,20	0,052	<u>0,12</u>	0,052:0,008=6,5	хлорид- ный	0,046:0,149=0,31	натриево- кальцие- вый
30-40	6,32	<u>0,04</u>	0,28	0,277:0,067=4,13		0,103:0,177=0,58	
45-60	6,64	0,067	<u>0,10</u>	0,067:0,021=3,19		0,088:0,183=0,48	

Площадка 2							
0-15	6,68	<u>0,06</u> 0,178		0,178:0,006=29,6 6	хлорид- ный	0,129:0,200=0,64	натриево- кальцие- вый
30-45	6,74	<u>0,04</u> 0,076		0,076:0,010=7,60		0,034:0,095=0,36	
55-70	6,68	0,073	<u>0,12</u>	0,073:0,033=2,21		0,064:0,192=0,33	
75-90	7,06	0,052	<u>0,18</u>	0,052:0,005=10,4		0,072:0,414=0,17	
Площадка 5							
0-25	6,68	0,094	<u>0,14</u>	0,094:0,013=7,23	хлорид- ный	0,052:0,139=0,37	натриево- кальцие- вый
Площадка 4							
5-20	6,74	0,176	<u>0,20</u>	0,176:0,007=25,1	хлорид- ный	0,250:0,122=2,05	натриевый
30-45	6,68	0,116	<u>0,20</u>	0,116:0,015=7,73		0,059:0,114=0,52	натриево- кальцие- вый
50-60	6,62	<u>0,02</u> 0,091		0,091:0,012=7,58		0,072:0,107=0,67	
70-85	7,06	<u>0,02</u> 0,068		0,068:0,015=4,53		0,067:0,421=0,16	
Площадка 3							
0-25	7,01	0,078	<u>0,14</u>	0,078:0,019=4,11	хлорид- ный	0,059:0,187=0,32	натриево- кальцие- вый
25-45	7,26	<u>0,06</u> 0,150		0,150:0,010=15,0		0,076:0,243=0,31	
50-60	7,31	<u>0,02</u> 0,105		0,105:0,027=3,89		0,127:0,276=0,46	
0-80	7,31	0,071	<u>0,14</u>	0,071:0,028=2,54		0,116:0,269=0,43	

Примечание: *в числителе величина плотного остатка (%), в знаменателе содержание анионов Cl⁻ (мМоль на 100 г почвы)

По степени засоления с превышением порога токсичности по плотному остатку выявлены не во всех исследуемых образцах.

По типу засоления по соотношению анионов выделено 2 типа: хлоридный и хлоридно-сульфатный; по соотношению катионов

выделено 2 типа: натриевый и натриево-кальциевый. В почвенном растворе преобладают соли хлоридного типа NaCl , CaCl_2 натриевого засоления и Na_2SO_4 сульфатного засоления.

По воздействию на растения наиболее угнетающее действие оказывают соли NaCl , менее угнетающее действие оказывают соли CaCl_2 и Na_2SO_4 .

Заключение. На территории опытных полей аграрного карбонового полигона Самарского ГАУ произошло незначительное подщелачивание почвенной среды, вследствие чего, почвы отнесены к солонцеватым и сделан вывод о развитии процесса осолонцевания.

В целом, наблюдается снижение уровня органического вещества в почвах на участке под посевами подсолнечника и в местах с развивающимся осолонцеванием, но есть исключение на новой мониторинговой площадке, где введенные в оборот залежные земли показывают незначительное увеличение органического вещества. По химизму засоления относительно pH все почвы относятся к нейтральному типу засолением, где $\text{pH} < 8,5$ (колеблется от pH 6,3 до pH 8,1).

Список литературы

1. Троц Н. М., Чернякова Г. И., Бокова А. А. Агроэкологический мониторинг почв лесостепного Заволжья при применении технологий почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (70). С. 49–56. doi: 10.18286/1816-4501-2025-2- 49-56
2. Бельчикова Н. П. Определение гумуса почвы по методу Тюрина. Агрохимические методы исследования почв: монография. М.: Изд. АН СССР, 1960. 555 с.
3. Накопление пожнивных и корневых остатков в севооборотах при применении технологии No-till в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / Н. М. Троц [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1. С. 25–31. doi 10.55170/19973225_2023_8_1_25
4. Головлёв А. А. В.В. Докучаев в Самарской губернии (к 170-летию со дня рождения и 138-летию проведения полевых исследований в

Самарском Поволжье) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016. № 1. С. 207–212.

5. Арефьев А. Н. Изменение плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от характера антропогенного воздействия на почву // Нива Поволжья. 2017. № 3 (44). С. 9–16.
6. Чичигинаров В. В., Петрова И. И., Сивцев В. В. Оценка показателей плодородия почв сельскохозяйственных угодий ООО «Биэттэ-агро» Якутии // Вестник Ульяновской ГСХА. 2023. № 2(62). С. 76–81. DOI 10.18286/1816-4501-2023-2-76-81
7. Динамика подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона / Н. М. Троц [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4. С. 23–28 doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-3-8
8. Динамика содержания фосфора и калия в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона / Н. М. Троц [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4. С. 3–8 DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-23-28.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА РАСТЕНИЯ СОИ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА

^{1, 2*} А.Г. Хина, ^{3**} А.С. Гордеев, ^{3***} Л.Р. Бикташева,
^{1****} Крутяков Ю. А.

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, г. Москва

²Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана, Центр НТИ «Цифровое материаловедение:
новые материалы и вещества», г. Москва

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт
экологии, биотехнологии и природопользования, г. Казань

*e-mail: alex_khina@inbox.ru, **e-mail: Drgor@mail.ru,

e-mail: biktasheval@mail.ru, *e-mail: sir_yurii@mail.ru

Аннотация. В работе изучено действие наночастиц серебра (НЧАг), стабилизированных амфополикарбоксиглицинатом натрия, на растения сои (*Glycine max* L.) на разных стадиях онтогенеза. Для оценки направленности и интенсивности эффектов, оказываемых дисперсиями НЧАг в различных концентрациях, было проведено две серии опытов: в лабораторных условиях на проростках и в условиях полевого мелкоделяночного эксперимента на вегетирующих растениях, экспозиция наночастицами при проведении которых осуществлялось путём прайминга семян и фолитарных обработок соответственно. Показано, что в лабораторных условиях НЧАг в концентрациях 1–100 мг/л не оказывают статистически значимого влияния на ростовые параметры проростков сои, таких как длина корня и стебля, а также масса проростков. Однако, в полевых опытах наблюдалось достоверное увеличение показателей густоты стояния растений и урожайности. Наибольшую эффективность продемонстрировала схема обработки, включающая трёхкратное опрыскивание вегетирующих растений в фазы 3–4 тройчатых листьев, начала бутонизации и начала цветения

водной дисперсией НЧАг с концентрацией 5 мг/л, что позволило улучшить сохранность стеблестоя на 7.8 %, а также повысить урожайность на 14.0 % до 1.96 т/га. Помимо этого, наблюдались незначительные улучшения усреднённых показателей структуры урожая: числа бобов на одном растении, количества семян в бобе, массы 1000 зёрен и массы зерна с одного растения. Изменение концентрации дисперсии НЧАг, а также снижение кратности обработок до двух, приводило к уменьшению наблюдаемых положительных эффектов. Для углубления понимания внутриклеточных механизмов, лежащих в основе наблюдаемых эффектов, была изучена активность антиоксидантных ферментов: пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы.

Ключевые слова: антиокислительные ферменты; нанопрайминг; наночастицы серебра; полевой опыт; ростовые процессы; соя; урожайность; физиология растений

STAGE-DEPENDENT RESPONSES OF SOYBEAN TO SILVER NANOPARTICLES

^{1, 2, *} A. G. Khina, ^{3, **} A. S. Gordeev, ^{3, ***} L. R. Biktasheva,
^{1, ****} Yu. A. Krutyakov

¹Moscow State University, Department of Chemistry, Moscow, 119991 Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Center NTI «Digital Materials
Science: New Materials and Substances», Moscow, 105005 Russia

³Kazan Federal University, Institute of Ecology, Biotechnology, and Nature
Management, Kazan, 420008 Russia

*e-mail: alex_khina@inbox.ru, **e-mail: Drgor@mail.ru,

e-mail: biktasheval@mail.ru, *e-mail: sir_yurii@mail.ru

Abstract. This study investigates the effects of silver nanoparticles (AgNPs) stabilized with sodium amphopolycarboxyglycinate (APCG) on soybean (*Glycine max*) at different ontogenetic stages. To assess the responses induced by AgNPs dispersions of different concentrations, two experimental series were conducted: laboratory assays on seedlings and field micro-plot trials on vegetating plants, with exposure achieved by seed priming and foliar spraying, respectively.

It was shown that in laboratory conditions, AgNPs at 1–100 mg/L did not produce statistically significant effects on the growth parameters of soybean seedlings (root and stem length, seedling mass). In contrast, field treatments led to a significant improvement in plant stand density and yield. The most effective treatment scheme included three foliar applications of AgNPs dispersion at a concentration of 5 mg/L during the phases of 3–4 trifoliate leaves, early budding, and early flowering, resulting in a 7.8% increase in stand preservation and a 14.0% increase in yield to 1.96 t/ha. In addition, minor improvements were also observed the average crop structure indicators: the number of beans per plant, the number of seeds per bean, the weight of 1,000 grains, and the weight of grain per plant. Changing the concentration of AgNPs dispersion or reducing the number of treatments led to a decrease in the observed positive effects. To elucidate intracellular mechanisms underlying the observed effects, the activities of key antioxidant enzymes – peroxidase, catalase, and polyphenol oxidase – were determined.

Keywords: antioxidant enzymes; field trial; growth processes; nanoprimering; plant physiology; silver nanoparticles; soybean; yield

Введение

Наночастицы серебра (НЧАг) представляют собой частицы металлического серебра размером от 1 до 100 нм. Крайне развитая удельная поверхность НЧАг, достигающая до 100 м²/г и, следовательно, высокая поверхностная энергия, предопределяют высокую реакционную способность НЧАг, их характерные оптические и каталитические свойства, а также придают им выраженную биологическую активность [1, 2]. Хорошо изучены антимикробные свойства наночастиц серебра. Например, ранее было показано, что НЧАг эффективно ингибируют рост бактерий, действуя на множество различных биологических мишеней в клетках патогенов [3].

В последние два десятилетия было проведено большое количество исследований по изучению действия наночастиц серебра на высшие растения [4–6]. Было показано, что НЧАг способны проникать в растения как через листья, так и через корневую си-

стему, после чего мигрировать по всему растительному организму по апопластному и симпластическому путям [7]. После проникновения в ткани растения, НЧАг оказывают многоуровневое воздействие. Так, НЧАг изменяют работу фотосинтетического аппарата (содержание и флуоресценцию хлорофилла, состав белков фотосистем), смещают редокс-гомеостаз и активируют работу антиокислительных ферментов, вызывают протеомные перестройки, регулируют биосинтез нуклеиновых кислот, фитогормонов, белков, в том числе стресс-ассоциированных, и липидов, сворачивание полипептидов, содержание компонентов клеточной стенки и др [8–11].

Такое комплексное воздействие НЧАг на внутриклеточные процессы, протекающие в растительном организме, приводит к изменениям и на морфологическом уровне. При этом, в зависимости от природы и концентрации НЧАг, фазы развития растения, при которой происходит экспозиция, условий проведения биологических почвенных и беспочвенных экспериментов, а также других факторов, НЧАг способны оказывать как положительный, так и отрицательный эффект на ростовые параметры растений: длину и массу корней, скорость удлинения побега, площадь листовой поверхности, ветвление и др [12]. В совокупности с регуляцией внутриклеточных процессов, в том числе ответственных за систему защиты растений от факторов биогенной и абиогенной природы, это приводит к повышению или снижению ключевого с практической точки зрения показателя – урожайности сельскохозяйственных культур [13–15].

Целью настоящей работы стало экспериментальное исследование влияния стабилизированных водных дисперсий НЧАг в различной концентрации на растения сои (*Glycine max* L.) в различных фазах онтогенеза для оценки изменений ростовых показателей растений и урожайности и подбора оптимальных режимов обработки для формирования положительного отклика. Дополнительно, для углубления понимания механизмов наблюдаемых эффектов, была изучена активность ключевых антиоксидантных ферментов (пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы) как маркеров редокс-гомеостаза, сопровождавшего изменения морфологических параметров.

Экспериментальная часть

Для синтеза наночастиц серебра использовали следующие реагенты: нитрат серебра (AgNO_3 , $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich, США), боргидрид натрия (NaBH_4 , $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich, США), лауретсульфат натрия ($\geq 99\%$, ООО «РусХим», Россия) и амфополикарбоксиглицинат натрия (30 % масс. водный раствор, Akzo Nobel).

Водные дисперсии НЧ серебра, стабилизированные амфополикарбоксиглицином натрия (АПКГ), получали методом химического восстановления нитрата серебра боргидридом натрия. Для получения 1 л дисперсии НЧАg с концентрацией серебра 200 мг/л, 200 г водного раствора, содержащего 0.3149 г AgNO_3 при интенсивном перемешивании (500 об/мин) добавляли через капельную воронку к 600 г водного раствора, содержащего 1.6000 г АПКГ (в виде 30% масс. водного раствора). После 15 мин перемешивания, в реакционную смесь по каплям вводили 200 г раствора, содержащего 0.1408 г NaBH_4 . При этом наблюдалось выделение водорода и изменение окраски реакционной массы с бесцветной до жёлто-коричневой, что свидетельствует об образовании наночастиц серебра. Реакционную массу перемешивали 2 часа до полного прекращения визуально наблюдаемого выделения водорода. Полученные дисперсии характеризовали методами спектроскопии в УФ-видимой области, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и динамического рассеяния света (ДРС).

УФ-спектры поглощения регистрировали на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu) в диапазоне 330–700 нм с использованием кварцевых кювет (оптический путь 10 мм).

Микрофотографии ПЭМ получали на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM-2100 (200 кВ). Образцы готовили нанесением 1–2 мкл дисперсии (100 мг/л) на углеродные сетки с последующей воздушной сушкой.

Гидродинамические диаметры и потенциал скользящего слоя (ζ -потенциал) полученных наночастиц определяли на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments). Измерения проводили в кварцевых кюветах (10 мм, угол рассеяния 90°) при

концентрации 50 мг/л. Обработку данных выполняли в программе DynaLS v.2.0 с использованием модели мономодального гауссова распределения.

Семена сои сорта Мезенка замачивали в течение 12 ч в водопроводной воде. Затем семена были инкубированы в чашках Петри диаметром 9 см на фильтровальной бумаге по 7 штук в трёх повторностях. Для тестирования влияния различных концентраций НЧАg на прорастание семян готовили растворы в концентрациях 1, 5, 25 и 100 ppm, а также раствор АПКГ в концентрациях, эквивалентных содержанию стабилизатора в дисперсиях НЧАg (8–800 ppm). Аликвоты по 5 мл дисперсии НЧАg или раствора АПКГ вносили в каждую чашку Петри, за исключением контрольных семян, к которым добавляли 5 мл стерильной дистиллированной воды. Чашки с семенами накрывали алюминиевой фольгой на 2 дня. Затем их помещали в климатостат на 5 суток при температуре 25°C , влажности 60 %, и освещении в течение 12 часов при 3000 лк. На 7-е сутки, у каждого растения измеряли длину корней и побегов, а также общую сырую массу проросших семян, предварительно высушивая проростки с помощью фильтровальной бумаги.

Полевые испытания проводили с 10 апреля по 1 октября 2024 г. в с. Ростоши, Эртильский район Воронежской области. Среди почв опытного участка преобладают выщелоченные среднесуглинистые черноземы. Содержание гумуса в пахотном слое опытных участков (по Тюрину) 4.35 %, почвы среднекислые $\text{pH}_{\text{сол}}=4.9$, степень насыщенности почвы основаниями — 74–86%. Количество подвижного фосфора (P_2O_5) — 12,9 мг, обменного калия (K_2O) — 11.8 мг на 100 г почвы (по Чирикову). Плотность почвы верхнего горизонта составляет 2.55–2.65 г/см³, объемная масса — 1,04–1,16 г/см³. Продолжительность периода вегетации составляет в среднем 180–200 дней. Сумма активных температур составляет 2300–2400 $^\circ\text{C}$. Большая часть осадков выпадает в виде дождя и треть в виде снега, около 25% их приходится на теплый период года. Посев произвели 28.04.2024 г. Норма высева семян — 80 шт./м². Глубина заделки семян — 4–5 см. Предшественник — озимая пшеница. Площадь опытных делянок — 60 м², опыт проводили в трехкратной повторности. Густоту стояния

учитывали на каждой делянке рамкой 0,25 м² в четырехкратной повторности на трёх фазах развития растений: появления всходов, полного цветения и налива зерна. Уборка урожая была проведена вручную 23.09.2024 г. Статистическую обработку данных и определение наименьшей существенной разности в морфологических показателях и урожайности растений сои проводили по стандартной методике Б.А. Доспехова «Обработка опытов с однолетними культурами», основанной на выполнении критерия Фишера [16].

Схема полевого опыта:

1. Контроль – Фон NPK 60:60:60 (кг д.в./га по N, P₂O₅ и K₂O)
2. Фон NPK 60:60:60 + двукратная листовая обработка вегетирующих растений сои в фазах 3-4 тройчатых листьев и начала бутонизации раствором АПКГ в концентрации 200 мг/л;
3. Фон NPK 60:60:60 + двукратная листовая обработка вегетирующих растений сои в фазах 3-4 тройчатых листьев и начала бутонизации водной дисперсией НЧАг с концентрацией 1 мг/л;
4. Фон NPK 60:60:60 + двукратная листовая обработка вегетирующих растений сои в фазах 3-4 тройчатых листьев и начала бутонизации водной дисперсией НЧАг с концентрацией 5 мг/л;
5. Фон NPK 60:60:60 + трехкратная листовая обработка вегетирующих растений сои в фазах 3-4 тройчатых листьев, начала бутонизации и начала цветения водной дисперсией НЧАг с концентрацией 5 мг/л;
6. Фон NPK 60:60:60 + двукратная листовая обработка вегетирующих растений сои в фазах 3-4 тройчатых листьев и начала бутонизации водной дисперсией НЧАг с концентрацией 25 мг/л;

Для определения ферментативной активности, ткани стеблей проростков сои отбирали на 7-й день после проращивания в чашках Петри, а ткани вегетирующих растений в фазу полного цветения, и замораживали в жидком азоте для проведения даль-

нейших испытаний. Для приготовления экстракта, 200 мг листьев растений гомогенизировали в 2 мл холодного фосфатного буфера (pH=6.8–7.2), содержащего 1 %масс. поливинилпирролидона (ПВП). Затем, экстракты центрифугировали при 12,000g и температуре 4 °C в течение 15 мин, полученный супернатант использовали для последующих анализов. Активность пероксидазы определяли спектрофотометрически по гваякол-методу измеряя поглощение света при $\lambda=470$ нм каждые 15 с в течение 3 мин. Реакционная смесь содержала 1.7 мл 50мМ фосфатного буфера (pH=7.0), 200 мкл 0.1 М гваякола, 100 мкл 0.15 % H₂O₂ и 100 мкл ферментного экстракта. Активность каталазы определяли спектрофотометрически по методу Аеби [17], измеряя уменьшение интенсивности поглощения при $\lambda = 240$ нм, вызванное разложением H₂O₂, каждые 10 с в течение 1 мин. Реакционная смесь содержала 1.9 мл 10 мМ раствора H₂O₂ в 50 мМ фосфатном буфере (pH=7.0) и 100 мкл ферментного экстракта. Активность полифенолоксидазы определяли катехольным методом, регистрируя увеличение поглощения при $\lambda=420$ нм каждые 10 с в течение 3 мин. Реакционная смесь содержала 1.8 мл 50 мМ фосфатного буфера (pH=6.8), 100 мкл 0.33 М катехола и 100 мкл ферментного экстракта.

Результаты и обсуждение

Полученная дисперсия НЧАг, стабилизированная АПКГ, была охарактеризована методами ПЭМ и ДРС. Стабильность дисперсий НЧАг во времени оценивали методом УФ-спектроскопии. Из микрофотографий ПЭМ (рисунок 1а) видно, что НЧАг имели сферическую форму с диаметром частиц $d_{\text{ПЭМ}}=10.4\pm4.9$ нм. При этом, высота пика плазмонного резонанса при $\lambda=420$ нм дисперсии НЧАг практически не изменялась в течение двух месяцев (рис 1б), что говорит о высокой коллоидной стабильности во времени. Гидродинамический диаметр полученных НЧ, определенный методом ДРС, составил 27.2 ± 5.3 нм, а потенциал поверхности скользящего слоя наночастиц (ζ -потенциал) оказался равен -52.6 мВ, что указывает на электростатическую природу стабилизации дисперсии.

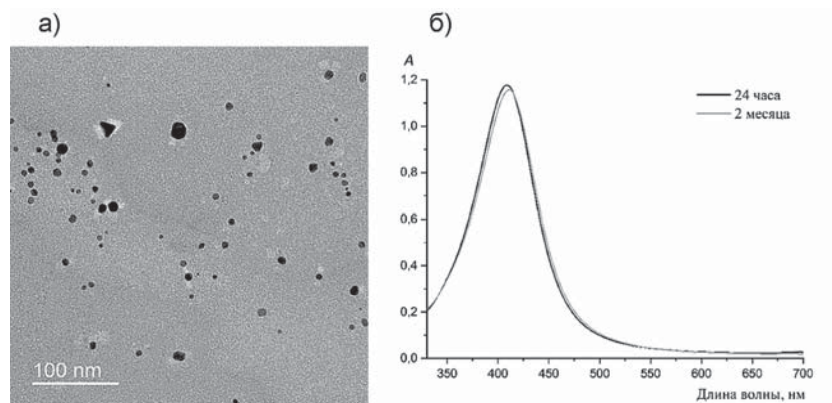


Рисунок 1 — Характеристика дисперсии НЧАг: (а) ПЭМ-изображения; б) УФ-спектры поглощения

Фотографии чашек Петри с проростками сои, подвергшихся воздействию различных концентраций дисперсии НЧАг, стабилизированных АПКГ, представлены на рисунок 2.

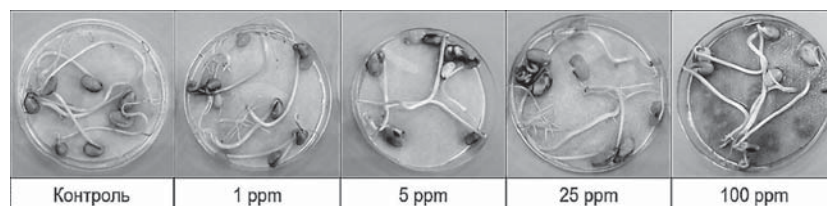


Рисунок 2 — Фотографии чашек Петри с проростками сои, подвергшихся воздействию дисперсий НЧАг в различных концентрациях.

Эффект от воздействия наночастиц серебра и АПКГ на ростовые параметры проростков растений оценивали на 7-й день эксперимента, измеряя качество ростовых параметров длину корней, длину стеблей и массу проростков. Полученные результаты приведены на рис 3. Из представленных данных, видно, что в исследованных концентрациях ни НЧ серебра, ни АПКГ не оказывают статически значимого влияния на ростовые параметры проростков пшеницы.

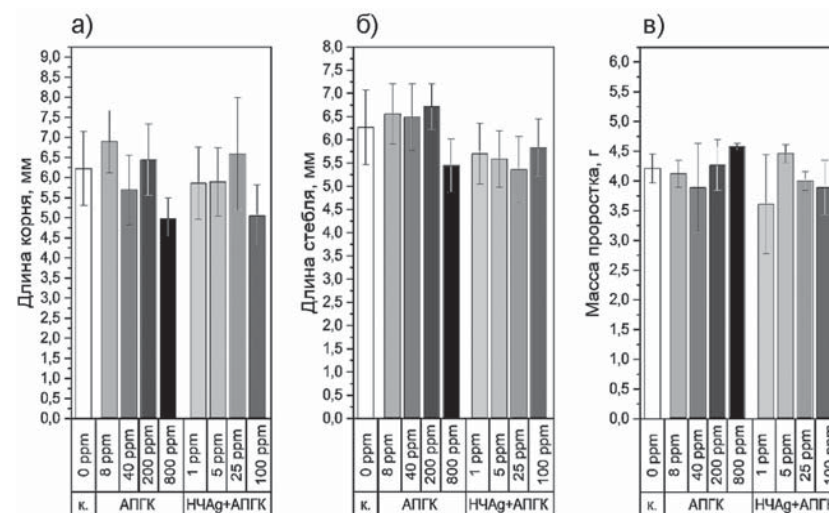


Рисунок 3 — Ростовые параметры проростков сои на 7-й день воздействия дисперсиями НЧ серебра: (а) — длина корней, (б) — длина стеблей, (в) — масса проростков.

Густоту стояния фиксировали на трёх фазах развития растений сои, полученные данные представлены в таблица 1. На стадии появления всходов между всеми вариантами проведения полевого опыта не было зафиксировано статистически значимых различий, что подтверждает однородность посевов. На более поздних этапах развития растений, обработки дисперсиями НЧАг способствовали увеличению сохранности растений. Наилучший результат продемонстрировала схема трехкратной листовой обработки вегетирующих растений сои дисперсиями НЧАг в концентрации 5 мг/л (вариант № 5), которая позволила увеличить густоту стояния растений в фазу налива зерна с 31.7 до 34.3 шт./м². Увеличение или снижение концентрации НЧАг, а также снижение кратности обработок (варианты № 3, 4, 6) до двух приводило к снижению положительного эффекта, который на стадии налива зерна оказывался статистически незначимым. Обработки АПКГ не приводили к значительному снижению стеблестоя. Аналогичную динамику продемонстрировало и влияние листовых обрабо-

ток дисперсиями НЧАг и раствором АПКГ на высоту стеблей растений, измеренную в фазу цветения, которая составила по вариантам: (1) – 52.8 ± 1.5 см, (2) – 54.2 ± 1.6 см, (3) – 54.9 ± 1.4 см, (4) – 56.1 ± 1.3 см, (5) – 57.0 ± 1.2 см, (6) – 54.7 ± 1.5 см.

В качестве показателей структуры урожая измеряли число бобов на растении, количество семян в бобе и массу зерна с одного растения, а также рассчитывали интегральный показатель урожайности (таблица 2). Из представленных данных видно, что использование дисперсий НЧАг привело к значительному приросту урожайности сои. Так, для варианта № 5, который соответствует трехкратным листовым обработкам вегетирующих растений сои дисперсиями НЧАг в концентрации 5 мг/л, прирост урожайности составил 14.0% в сравнении с контрольным вариантом (с 1.72 до 1.96 т/га, $HCP_{0.5}=0.11$). Кроме того, достоверное увеличение урожайности, которое составило 6.3 и 8.1 %, продемонстрировали варианты № 6 и 4, соответственно. Помимо увеличения урожайности обработка растений дисперсиями НЧАг приводила к достоверному улучшению качества урожая. Так, вариант № 5 демонстрировал положительную динамику всех структурных показателей – числа бобов на растении, семян в бобе, массы 1000 семян и массы зерна с растения; однако величина приростов, как правило, либо лишь незначительно превышала порог статистической значимости ($HCP_{0.5}$), либо не достигала его.

Таблица 1 — Густота стояния растений сои (шт./м²) в различные стадии вегетации.

№ варианта	Фаза вегетации		
	Появление всходов	Полное цветение	Налив зерна
1	37.7	34.3	31.7
2	38.1	33.5	31.4
3	37.1	35.4	32.5
4	38.6	36.2	32.7
5	38.2	35.3	34.3
6	37.0	36.6	33.2
$HCP_{0.5}$	1.9	2.1	2.4

Таблица 2 — Показатели структуры урожая и урожайности сои

№ варианта	Число бобов на растении, шт.	Количество семян в бобе, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Масса зерна с одного растения, г	Урожайность, т/га
1	20.2	2.01	133.6	5.43	1.72
2	20.5	1.98	133.4	5.41	1.70
3	19.9	2.04	134.2	5.45	1.77
4	20.5	2.04	133.8	5.60	1.83
5	20.7	2.05	134.7	5.71	1.96
6	20.5	2.03	134.6	5.60	1.86
$HCP_{0.5}$	1.8	0.12	1.2	0.21	0.11

Для оценки уровня индуцированного НЧАг окислительного стресса и активации механизмов неспецифических защитных реакций, лежащих в основе наблюдаемых изменений ростовых параметров и показателей урожайности растений сои, определяли активность антиокислительных ферментов ПО, КАТ и ПФО в стеблях проростков и листьях вегетирующих растений, полученные данные приведены в таблицах 3 и 4. В условиях лабораторного эксперимента на проростках (таблица 3) низкие и средние дозы НЧАг (1–25 мг/л) в целом вызывали закономерную индукцию активности всех трёх изученных ферментов. Рост активности относительно контрольного варианта достигал в среднем 20–45 %, что типично для лёгкого стрессового воздействия, оказываемого методом прайминга семян [8, 18]. При этом, поскольку на 7-е сутки эксперимента не было зафиксировано статистически значимых изменений длины корней и побегов, а также сырой массы проростков (рисунок 3), можно сделать вывод, что активация антиоксидантной системы оставалась в пределах компенсаторной системы физиологического буфера растения и потому не приводила к морфологическим изменениям. Некоторое падение

активности ферментов при концентрации НЧАг 100 мг/л вероятно связано с превышением компенсаторных возможностей антиоксидантной системы, которое, однако, также не привело к значительным изменениям ростовых параметров проростков сои.

В полевых условиях также отмечалось умеренное повышение активности ПО, КАТ и ПФО при обработках дисперсиями НЧАг (таблица 4). При этом, наиболее выраженное влияние наблюдалось для вариантов № 5 и 6, соответствующих трехкратной листовой обработке дисперсией НЧАг с концентрацией 5 мг/л и двухкратной обработке с концентрацией дисперсии 25 мг/л. Эти варианты одновременно демонстрировали наилучшие показатели сохранности стеблестоя и урожайности (таблица 1 и 2). Очевидно, это связано с некоторым стимулирующим воздействием, оказываемым НЧАг, которое может заключаться в активации неспецифических механизмов устойчивости растений к биогенным и абиогенным факторам внешней среды, изменении регуляции фитогормонов, увеличении содержания хлорофилла и другим положительным последствиям, маркером которых и является умеренный рост активности антиоксидательных ферментов.

Таблица 3 — Активность антиоксидательных ферментов в стеблях проростков пшеницы при воздействии дисперсий наночастиц серебра

№	Д.В.	Концентрация (мг/л)	Активность ПО, Ед. / г. сырой массы • с	Активность КАТ, мкМ H ₂ O ₂ / г. сырой массы • мин	Активность ПФО, Ед. / г. сырой массы • мин
1	-	-	210 ± 15	420 ± 20	24.0 ± 1.4
2	АПКГ	800	225 ± 16	460 ± 21	25.3 ± 1.5
3	НЧАг+АПКГ	1+8	230 ± 17	440 ± 23	30.1 ± 1.7
4	НЧАг+АПКГ	5+40	295 ± 18	575 ± 22	29.0 ± 1.8
5	НЧАг+АПКГ	25+200	305 ± 20	590 ± 25	31.2 ± 1.9
6	НЧАг+АПКГ	100+800	280 ± 19	555 ± 24	27.8 ± 1.8

Таблица 4 — Активность антиоксидательных ферментов в вегетирующих растениях сои при воздействии дисперсий наночастиц серебра, стабилизированных АПКГ.

№	Концентрация НЧАг, мг/л	Число обработок	ПО, ед.·г ⁻¹ ·мин ⁻¹	КАТ, мкМ H ₂ O ₂ ·г ⁻¹ ·мин ⁻¹	ПФО, ед.·г ⁻¹ ·мин ⁻¹
1	0	0	202 ± 12	184 ± 10	21.0 ± 1.5
2	0 (200 мг/л АПКГ)	2	205 ± 11	282 ± 12	22.0 ± 1.5
3	1	2	196 ± 14	178 ± 12	23.8 ± 1.7
4	5	2	229 ± 11	206 ± 11	24.5 ± 1.5
5	5	3	252 ± 13	211 ± 12	24.0 ± 1.6
6	25	2	248 ± 15	245 ± 14	26.9 ± 1.8

Заключение

В работе изучено действие стабилизированных амфополикарбоксиглицинатом водных дисперсий наночастиц серебра ($d=10.4\pm 4.9$ нм; $\zeta=-52.6$ мВ) на растения сои в различные фазы онтогенеза: в лабораторных условиях путём прайминга семян и в полевых мелкоделяночных экспериментах путём листовых обработок (опрыскивания) вегетирующих растений. Обработки проростков растений сои дисперсиями НЧАг в концентрациях 1–100 мг/л не приводили к статистически значимому изменению ростовых показателей, таких как длина корня и стебля, а также масса проростков. В то же время, листовые обработки вегетирующих растений приводили к достоверному улучшению густоты стояния и урожайности. Наибольшую эффективность показала схема трехкратной обработки дисперсиями НЧАг в концентрации 5 мг/л, которая позволила увеличить густоту стояния растений с 31.7 до 34.3 шт./м², а также повысить урожайность до 1.96 т/га, что на 14.0 % выше контрольного варианта ($НСР_{0.5}=0.11$ т/га). Увеличение или снижение концентрации дисперсии НЧАг, а также уменьшение числа обработок до двух, приводило к снижению положительного эффекта. При этом, показатели структуры урожая (число бобов на растении, количество семян в бобе, масса 1000 зёрен и масса зерна с одного растения)

изменялись лишь узким диапазоне в пределах интервала статистической значимости или лишь немного превышая его, что указывает на преобладающий вклад улучшенной сохранности стеблестоя на итоговый интегральный показатель урожайности.

Наблюдаемое повышение сохранности растений вероятно связано с активизацией системы антиоксидантной защиты растений, которая, как известно, регулирует интенсивность протекания неспецифических защитных реакций, что в свою очередь приводит к повышению устойчивости растений к факторам биогенной и абиогенной среды. Данная гипотеза была подтверждена путём изучения активности ферментов окислительно-восстановительного гомеостаза. Так, при воздействии умеренных концентраций дисперсий НЧА_g (1–25 мг/л) на вегетирующие растения сои было обнаружено достоверное увеличение активности ферментов ПО, КАТ и ПФО, величина которого прямо коррелировала с улучшением показателей сохранности стеблестоя и урожайности.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что было показано, что обработки растений сои дисперсиями НЧА_g могут служить эффективным приёмом повышения устойчивости растений и увеличением их продуктивности. При этом, величина положительного эффекта определяется как фазой развития растений, при которой происходит воздействие, так и подбором оптимальной концентрации и кратности дисперсий. Результаты проведенных экспериментов позволяют рекомендовать схему трёхкратной обработки вегетирующих растений сои дисперсиями НЧА_g в концентрации 5 мг/л как оптимальной в условиях Центрального Черноземья.

Ограничениями работы являются малый период наблюдений (один вегетационный сезон), а также узость экспериментальных условий – изучен один сорт на одном типе почвы. Кроме того, в дальнейшем целесообразно расширение типов изучаемых физиолого-биологических маркеров, которыми могут стать, например, изменение регуляции фитогормонов, активности хлорофилла, содержание свободного пролина и др. Тем не менее, результаты проведенных опытов подтверждают потенциал дисперсий серебра как инструмента тонкой регуляции антиоксидантной системы и повышения продуктивности растений сои при соблюдении регламента проведения обработок.

Список литературы

1. Dawadi S., Katuwal S., Gupta A., Lamichhane U., et al. Current research on silver nanoparticles: synthesis, characterization, and applications // *J. Nanomater.* 2021. Article ID 6687290. <https://doi.org/10.1155/2021/6687290>
2. Krutyakov Yu.A., Kudrinskiy A.A., Olenin A., Lisichkin G. Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects // *Russ. Chem. Rev.* – 2008. – V. 77. № 3. P. 233–257. <https://doi.org/10.1070/RC2008v077n03ABEH003751>
3. Khina A.G., Krutyakov Y.A. Similarities and differences in the mechanism of antibacterial action of silver ions and nanoparticles // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2021. V. 57. P. 683–693. <https://doi.org/10.1134/S0003683821060053>
4. Usman M., Farooq M., Wakeel A., Nawaz A., et al. Nanotechnology in agriculture: current status, challenges and future opportunities // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 721. Article № 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>
5. Mehmood A. Brief overview of the application of silver nanoparticles to improve growth of crop plants // *IET Nanobiotechnol.* 2018 V. 12. № 6. P. 701–705. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0273>
6. Mahajan S., Kadam J., Dhawal P., Barve S., Kakodkar S. Application of silver nanoparticles in in-vitro plant growth and metabolite production: revisiting its scope and feasibility // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2022. V. 150. P. 15–39. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02249-w>
7. Yang Q., Shan W., Hu L., Zhao Y., et al. Uptake and transformation of silver nanoparticles and ions by rice plants revealed by dual stable isotope tracing // *Environ. Sci. Technol.* 2019. V. 53. № 2. P. 625–633. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02471>
8. Vannini C., Domingo G., Onelli E., Prinsi B., et al. Morphological and proteomic responses of *Eruca sativa* exposed to silver nanoparticles or silver nitrate // *PLoS One.* 2013. V. 8. № 7. Article № e68752. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068752>
9. Jiang H.S., Qiu X.N., Li G.B., Li W., Yin L.Y. Silver nanoparticles induced accumulation of reactive oxygen species and alteration of antioxidant systems in the aquatic plant *Spirodela polyrhiza* // *Environ. Toxicol. Chem.* 2014. V. 33. № 6. P. 1398–1405. <https://doi.org/10.1002/etc.2577>

10. Štefanić P.P., Cvjetko P., Biba R., Domijan A.M., et al. Physiological, ultrastructural and proteomic responses of tobacco seedlings exposed to silver nanoparticles and silver nitrate // *Chemosphere*. 2018. V. 209. P. 640–653. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.128>
11. Syu Y.Y., Hung J.H., Chen J.C., Chuang H.W. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on Arabidopsis plant growth and gene expression // *Plant Physiol. Biochem.* 2014. V. 83. P. 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.07.010>
12. Khina A.G., Lisichkin G.V., Krutyakov Yu.A. Effect of Silver Nanoparticles on the Physiology of Higher Plants. *Rus. J. Plant Phys.* V. 71. № 6. Article № 169. <https://doi.org/10.1134/s1021443724607882>
13. Krutyakov Y.A., Mukhina M.T., Shapoval O.A., Zargar M. Effect of foliar treatment with aqueous dispersions of silver nanoparticles on legume-rhizobium symbiosis and yield of soybean (*Glycine max* L. Merr.) // *Agronomy*. 2022. V.
14. Zakharova O.V., Gusev A.A., Zharebin P.M., Skripnikova E.V., et al. Sodium tallow amphopolycarboxyglycinate-stabilized silver nanoparticles suppress early and late blight of *Solanum lycopersicum* and stimulate the growth of tomato plants // *BioNanoSci.* 2017. V. 7. P. 692–702. <https://doi.org/10.1007/s12668-017-0406-2>
15. Krutyakov Yu. A., Khina A. G., Mukhina M. T., Shapoval O. A., Lisichkin G. V. Effect of treatment with colloidal silver dispersions stabilized with polyhexamethylene biguanide on the yield and biochemical parameters of potato plants in a field trial // *Nanobiotechnology Rep.* V. 18. P. 362–370. <https://doi.org/10.1134/S2635167623700246>
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. Aebi H. Catalase in *Methods of Enzymatic Analysis*, 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 1974. V. 2. P. 673–684. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-091302-2.50032-3>
18. Mohamed A.K.S.H., Qayyum M.F., Abdel-Hadi A.M., Rehman R.A., et al. Interactive effect of salinity and silver nanoparticles on photosynthetic and biochemical parameters of wheat. // *Arch. Agron. Soil Sci.* 2017. V. 63. P. 1736–1747. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1300256>

УДК 631.6:631.4

МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ПОВОЛЖЬЕ

¹**М. М. Хисматуллин,**
²**Р. П. Ибатуллина**

¹ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз»», г. Казань,
rezi-almet@yandex.ru

Почтовый адрес для связи: г. Казань, ул. Гвардейская, д.15
²ООО «НПИ «Биопрепараты», заслуженный работник сельского
хозяйства Республики Татарстан, Лауреат Государственной премии
Правительства Российской Федерации, г. Казань,
biopreparaty@mail.ru

Почтовый адрес для связи: 422527, Россия, Республика Татарстан,
Зеленодольский район, село. Осиново, ул. Гагарина, д. 15, офис А12

Аннотация: В статье рассматривается роль мелиоративных мероприятий в повышении плодородия почв и обеспечении устойчивого земледелия в регионе Поволжья. Анализируются основные проблемы почв региона (засоление, деградация, водная и ветровая эрозия), а также современные подходы к их решению с помощью мелиоративных технологий. Особое внимание уделяется вопросам оптимизации режимов орошения и осушения, а также внедрению ресурсосберегающих технологий мелиорации.

Ключевые слова: мелиорация; плодородие почв; устойчивое земледелие; Поволжье; орошение; осушение; засоление; эрозия; ресурсосберегающие технологии, плодородие, биопрепараты, почвенные ресурсы, урожайность

RECLAMATION MEASURES AS A TOOL
TO IMPROVE SOIL FERTILITY AND ENSURE SUSTAINABLE
AGRICULTURE IN THE VOLGA REGION

Mars Mansurovich Khismatullin

*Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Federal State Budgetary
Institution «Administration “Privolzhskmeliovodkhoz”», Kazan,
rezi-almet@yandex.ru*

Rimma Petrovna Ibatullina

*PhD in Biological Sciences, Director of «Biopreparaty» SII LLC, Honored
Worker of Agriculture of the Republic of Tatarstan, Laureate of the State
Prize of the Government of the Russian Federation, Kazan,
biopreparaty@mail.ru*

Abstract: The article discusses the role of reclamation measures in increasing soil fertility and ensuring sustainable agriculture in the Volga region. The main problems of the region's soils (salinization, degradation, water and wind erosion) are analyzed, as well as modern approaches to solving them using reclamation technologies. Special attention is paid to optimizing irrigation and drainage regimes, as well as introducing resource-saving reclamation technologies.

Keywords: reclamation; soil fertility; sustainable agriculture; Volga region; irrigation; drainage; salinization; erosion; resource-saving technologies. fertility, biological products soil resources, yield

Поволжье — один из важнейших сельскохозяйственных регионов России, характеризующийся сложными почвенно-климатическими условиями. Недостаток влаги, высокая испаряемость, засоление, деградация и эрозия почв являются основными факторами, ограничивающими продуктивность земледелия в регионе. В связи с этим, мелиоративные мероприятия играют ключевую роль в повышении плодородия почв и обеспечении устойчивого земледелия в Поволжье.

Современное состояние почвенного покрова Поволжья

Почвенный покров Поволжья характеризуется большим разнообразием. Наиболее распространены черноземы (обыкновенные, южные, выщелоченные), каштановые и светло-каштановые почвы. Однако, значительная часть земель подвержена негативным процессам, таким как засоление, осолонцевание, дегумификация, водная и ветровая эрозия.

Представить точные статистические данные по площадям засоленных, эродированных и деградированных земель в Поволжье на 2025 год достаточно сложно без доступа к актуальным отчетам Росстата, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации или специализированным научно-исследовательским учреждениям. Однако, я могу предоставить обобщенную информацию на основе имеющихся данных и научных публикаций, а также указать возможные источники для поиска более точной статистики.

Общие статистические данные (приблизительные оценки)

Засоленные земли. По различным оценкам, в Поволжье засоленные почвы занимают от 10% до 25% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Наиболее подвержены засолению земли в Волгоградской, Астраханской, Саратовской областях и Республике Калмыкия. Конкретные площади могут значительно варьироваться в зависимости от года и методики оценки.

Эродированные земли. Площадь эродированных земель в Поволжье, включая земли, подверженные водной и ветровой эрозии, может достигать 30–40% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Наибольшее распространение эрозия получила в Саратовской, Самарской, Ульяновской областях и Республике Татарстан.

Деградированные земли. К деградированным землям относятся почвы, потерявшие плодородие в результате различных процессов, таких как дегумификация, уплотнение, загрязнение и т.д. Площадь таких земель может составлять 15–25% от общей площади сельскохозяйственных угодий.

Причины деградации почв в Поволжье

Климатические факторы:

- недостаточное количество осадков и высокая испаряемость, приводящие к засолению почв;
- засухи, способствующие развитию ветровой эрозии;
- ливневые дожди, вызывающие водную эрозию;
- резкие колебания температур, способствующие деградации почвенной структуры.

Антропогенные факторы:

- нерациональное использование земель (перевыпас скота, распашка склонов);
- неправильная обработка почвы (отсутствие севооборотов, использование тяжелой техники).
- недостаточное внесение органических удобрений, приводящее к дегумификации почв;
- загрязнение почв промышленными отходами и пестицидами;
- неэффективные системы орошения и дренажа, приводящие к засолению и заболачиванию.

Гидрогеологические факторы: близкое залегание минерализованных грунтовых вод, способствующее засолению почв.

Влияние деградации почв на урожайность сельскохозяйственных культур

Деградация почв оказывает негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, приводя к значительным потерям продукции.

Засоление. Засоленные почвы характеризуются высоким содержанием солей, что затрудняет поступление воды и питательных веществ в растения, снижает их всхожесть и угнетает рост. Урожайность зерновых на засоленных почвах может снижаться на 20–50%, а овощных и технических культур — еще больше.

Эрозия. Эрозия приводит к смыву плодородного слоя почвы, содержащего гумус и питательные вещества, что снижает ее плодородие и влагоемкость. Урожайность зерновых на эродирован-

ных почвах может снижаться на 15–30%, а овощных и технических культур — на 20–40%.

Дегумификация. Снижение содержания гумуса в почве ухудшает ее физические свойства, снижает влагоемкость и питательную ценность. Урожайность зерновых на дегумифицированных почвах может снижаться на 10–20%.

Источники статистики:

Федеральная служба государственной статистики (Росстат): <https://rosstat.gov.ru/> (Раздел «Сельское хозяйство»)

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации: <https://mcx.gov.ru/> (Разделы «Растениеводство», «Мелиорация»)

ФГБНУ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»: <https://www.dokuchaev.ru/>

Региональные органы управления сельским хозяйством.

Научные публикации в специализированных журналах по почвоведению, агрохимии и мелиорации.

Мелиоративные мероприятия как инструмент повышения плодородия почв.

Мелиорация — это комплекс мероприятий, направленных на улучшение гидрологического, агрохимического и физического состояния почв с целью повышения их плодородия и продуктивности. В Поволжье наиболее актуальными являются следующие виды мелиорации:

1. Орошение - обеспечение растений необходимой влагой в засушливые периоды, повышение урожайности и расширение ассортимента возделываемых культур;
2. Осушение - удаление избыточной влаги из переувлажненных почв, улучшение аэрации корневой системы растений, предотвращение заболачивания и засоления;
3. Борьба с засолением - промывка засоленных почв, строительство дренажных систем, внесение мелиорантов.
4. Борьба с эрозией - создание лесополос, террасирование склонов, применение почвозащитных технологий обработки почвы.
5. Агролесомелиорация. Создание полезащитных лесных полос, закрепление песков и оврагов.

Виды мелиорации в Поволжье: технологии, преимущества, недостатки и примеры успешного применения

Поволжье, характеризующееся засушливым климатом, сложными почвенными условиями и высоким риском деградации земель, нуждается в эффективном проведении мелиоративных мероприятий. Рассмотрим основные виды мелиорации, применяемые в регионе, их особенности, а также приведем примеры успешного опыта.

1. Орошение — искусственное увлажнение земель для обеспечения оптимального водного режима растений, повышения урожайности и расширения спектра возделываемых культур.

Применяемые технологии:

Дождевание — распределение воды по поверхности поля с помощью дождевальных машин (ДМ), обеспечивающих равномерный полив.

Преимущества: простота реализации, подходит для различных типов почв и рельефа, обеспечивает охлаждение воздуха и смыв пыли с растений.

Недостатки: высокий расход воды, возможность развития болезней растений при неоптимальном режиме полива, ветровой снос капель, неравномерное распределение воды.

Капельное орошение — подача воды непосредственно в корневую зону растений через систему капельниц, обеспечивая высокую эффективность использования воды.

Преимущества: высокая эффективность использования воды, снижение потерь на испарение, равномерное распределение воды и питательных веществ, возможность автоматизации, снижение риска развития болезней.

Недостатки: высокая стоимость оборудования, засорение капельниц, необходимость в регулярном обслуживании.

Внутрипочвенное орошение — подача воды непосредственно в корневую зону растений через подземные трубопроводы и эмиттеры, обеспечивая минимальные потери воды и высокую эффективность.

Преимущества: максимальная эффективность использования воды, отсутствие потерь на испарение, предотвращение засоле-

ния почвы, снижение риска развития болезней, возможность автоматизации.

Недостатки: высокая стоимость оборудования и монтажа, сложность обслуживания и ремонта, необходимость тщательной подготовки почвы.

Поверхностное орошение (по бороздам, напуском) — подача воды по бороздам или затопление участков, применяется в основном для выращивания пропашных культур.

Преимущества: простота и низкая стоимость, эффективное использование воды для отдельных культур.

Недостатки: низкая эффективность использования воды, неравномерное распределение влаги, риск засоления почвы.

Примеры успешного применения в Поволжье:

- Волгоградская область: развитие систем капельного орошения для выращивания овощей и бахчевых культур в хозяйствах Ленинского, Среднеахтубинского и других районов.
- Астраханская область: использование дождевальных машин на рисовых системах для обеспечения стабильных урожаев.
- Саратовская область. Внедрение капельного орошения для выращивания томатов, огурцов и других овощных культур в теплицах.

2. Осушение — удаление избыточной влаги из почвы для улучшения аэрации корневой системы растений, предотвращения заболачивания и засоления.

Применяемые технологии:

Открытый дренаж — создание открытых каналов для отвода излишней воды с поверхности и из верхних слоев почвы.

Преимущества: простота и низкая стоимость, эффективность при осушении больших площадей.

Недостатки: затрудняет механизированную обработку почвы, подвержен заилению и зарастанию, создает угрозу для скота и диких животных.

Закрытый дренаж — устройство подземных дренажных систем (дренов) для отвода излишней воды из почвы.

Преимущества: не препятствует механизированной обработке почвы, долговечность, высокая эффективность осушения, возможность регулирования водного режима.

Недостатки: высокая стоимость строительства и обслуживания, необходимость в регулярном мониторинге и ремонте.

Вертикальный дренаж — устройство вертикальных скважин для отвода грунтовых вод.

Преимущества: эффективно для осушения территорий с близким залеганием грунтовых вод.

Недостатки: высокая стоимость, необходимость в электроэнергии для работы насосов.

Примеры успешного применения в Поволжье:

- Саратовская область: осушение переувлажненных земель для выращивания зерновых культур и кормовых угодий в хозяйствах Краснокутского, Энгельсского и других районов.
- Волгоградская область: осушение земель, подверженных подтоплению, для предотвращения засоления и повышения урожайности.
- Республика Калмыкия: применение открытого дренажа для осушения пастбищ и предотвращения деградации.

3. Борьба с засолением — комплекс мероприятий, направленных на снижение содержания солей в почве для повышения ее плодородия.

Применяемые технологии:

Промывка засоленных почв — интенсивное орошение земель с целью вымывания солей из верхних слоев почвы.

Преимущества: эффективный метод снижения засоления.

Недостатки: высокий расход воды, риск вторичного засоления при неправильном дренировании.

Внесение мелиорантов: применение химических веществ (гипс, известь, цеолит, фосфогипс) для улучшения физико-химических свойств почвы и снижения засоления.

Преимущества: улучшение структуры почвы, повышение ее водопроницаемости.

Недостатки: высокая стоимость мелиорантов, необходимость в соблюдении агротехнических требований.

Строительство дренажных систем — удаление избыточного количества грунтовых вод, содержащих соли.

Преимущества: предотвращение повторного засоления.

Недостатки: высокая стоимость строительства и обслуживания.

Использование солеустойчивых культур — выращивание культур, устойчивых к засолению.

Преимущества: экономичный метод.

Недостатки: ограниченный выбор культур.

Примеры успешного применения в Поволжье:

- Астраханская область: промывка засоленных почв на орошаемых землях для выращивания риса.
- Волгоградская область: внесение гипса на засоленных почвах для улучшения их структуры и повышения урожайности.
- Республика Калмыкия: применение дренажных систем для борьбы с засолением пастбищ.

4. Борьба с эрозией — комплекс мероприятий, направленных на предотвращение смыва и сноса плодородного слоя почвы.

Применяемые технологии:

Создание лесополос — посадка лесных насаждений для защиты полей от ветровой эрозии.

Преимущества: эффективная защита от ветра, снегозадержание, улучшение микроклимата.

Недостатки: требует времени для роста деревьев, занимает площадь пашни.

Террасирование склонов — создание ступенчатых площадок на склонах для уменьшения стока воды и предотвращения водной эрозии.

Преимущества: эффективная защита от водной эрозии.

Недостатки: высокая стоимость, трудоемкость.

Контурная обработка почвы — обработка почвы поперек склона для уменьшения стока воды и предотвращения водной эрозии.

Преимущества: простота применения.

Недостатки: менее эффективна, чем террасирование.

Применение почвозащитных технологий обработки почвы: Минимальная или нулевая обработка почвы, мульчирование, оставление пожнивных остатков.

Преимущества: сохранение влаги в почве, снижение эрозии.

Недостатки: требует специализированной техники и знаний.

Примеры успешного применения в Поволжье:

- Саратовская область: создание лесополос для защиты полей от ветровой эрозии в хозяйствах Ершовского, Озинского и других районов.
- Самарская область: применение контурной обработки почвы для защиты от водной эрозии.
- Ульяновская область: внедрение почвозащитных технологий обработки почвы в хозяйствах, расположенных на склонах.

5. Агролесомелиорация — комплекс мероприятий по созданию лесных насаждений на сельскохозяйственных угодьях, направленный на улучшение микроклимата, защиту от эрозии, повышение плодородия почвы и увеличение урожайности.

Применяемые технологии:

Посадка полезащитных лесных полос — защита полей от ветровой эрозии, улучшение микроклимата, снегозадержание.

Создание насаждений в оврагах и балках — закрепление склонов, предотвращение эрозии.

Посадка лесных насаждений на песках — закрепление подвижных песков.

Примеры успешного применения в Поволжье:

- Саратовская область: создание лесополос в засушливых степях для снижения ветровой эрозии и повышения урожайности зерновых культур.
- Волгоградская область: создание лесных насаждений в оврагах и балках для предотвращения эрозии почвы и улучшения экологической обстановки.
- Астраханская область: закрепление подвижных песков путем посадки лесных насаждений для предотвращения песчаных бурь.

Комплексное применение мелиоративных мероприятий является ключевым фактором для повышения плодородия почв, обеспечения устойчивого земледелия и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Поволжье. Важно учитывать особенности каждого региона, климатические условия, тип почв и выбирать наиболее эффективные и ресурсосберегающие технологии мелиорации. Успешный опыт, накопленный в регионе, должен быть использован для дальнейшего развития мелиорации и совершенствования агротехнических приемов.

Ресурсосберегающие технологии мелиорации

В условиях ограниченности водных и энергетических ресурсов, особое значение приобретает внедрение ресурсосберегающих технологий мелиорации, таких как:

Капельное орошение — обеспечение точной подачи воды непосредственно в корневую зону растений, снижение потерь воды на испарение и фильтрацию.

Импульсное орошение — подача воды небольшими дозами через определенные промежутки времени, оптимизация водопотребления растений.

Подпочвенное орошение — подача воды непосредственно в подпочвенный слой, снижение потерь воды на испарение и борьба с засолением.

Микродождевание — орошение мелкими каплями воды, создание благоприятного микроклимата для растений.

Использование альтернативных источников воды — использование очищенных сточных вод и дренажных вод для орошения.

Мелиоративные мероприятия являются необходимым условием повышения плодородия почв и обеспечения устойчивого земледелия в Поволжье. Внедрение современных мелиоративных технологий, особенно ресурсосберегающих, позволяет более эффективно использовать водные ресурсы, снижать риски и повышать урожайность сельскохозяйственных культур. Необходимо дальнейшее развитие мелиорации в регионе, в том числе за счет государственной поддержки и привлечения инвестиций.

О сохранении плодородия почв

Мелиорация — комплекс организационно-хозяйственных и технических мероприятий по улучшению гидрологических, почвенных и агроклиматических условий. Целью является повышение эффективности использования земельных и водных ресурсов для повышения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Для успешного земледелия земля должна быть плодородной и в почве должно быть много агрономически полезных микроорганизмов, а мелиорация необходима для улучшения и стабилизации почвенного плодородия. Реализация направлений экологизации сельхозпродукции возможна только через оздоровление почвы посредством применения почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия с расширением спектра методов биологической защиты.

Многолетние исследования, проведенные специалистами, показывают, что **главные питательные элементы** в комплексных минеральных удобрениях: **азот (N), фосфор (P) и калий (K)**, не растворяются и не усваиваются почвенными компонентами. Отмечается, что низкая ферментативная активность почвы значительно снижает разложение растительно-поживных остатков, и это препятствует круговороту питательных веществ и микроэлементов. По причине деградации почв сокращается ее биоразнообразие, а именно данный фактор относится к самым сильным компонентам защиты природных ресурсов и климата на планете.

Одним из первостепенных направлений восстановления и защиты почвенной биоты является поддержание биоразнообразия, что напрямую связано с повышением биологической активности почв, а в дальнейшем повышению урожайности. Это возможно за счет широкого внедрения биологических, безопасных и экономически выгодных по своей сути методов, которые также стимулируют естественные процессы жизнедеятельности в системе почвообразования за счет обогащения микробного населения почвы более продуктивными — агрономически полезными видами микроорганизмов, стимулирования активизации естественной почвенной микрофлоры. Необходимо широкое и максимальное применение биопрепаратов во всех стадиях производ-

ства (для с обработки семян, по вегетации, санация почвы, хранение продукции).

Снижение нагрузки на почву химическими препаратами может быть достигнуто при интегрированной (двухурвневой) защите путем уменьшения дозы химических препаратов и использование биологических препаратов в полной дозе. В связи с этим целесообразно активно развивать интегрированную систему защиты в растениеводстве: специально подобранную и обоснованную для условий хозяйства и возделываемых культур, в зависимости от инфицирования семян использовать «химию» до 50% и «биологию» до 100% совместно в баковой смеси. Данные мероприятия также позволят добиться снижения токсикоза почвы как последствия биологической и биохимической деградации почв, и уменьшения уплотнения токсикантов в почве, и как следствие, ускорения их разложения за счет активизации почвенной микрофлоры и реализации элементов биологизированной системы земледелия. Грамотно подобранная интегрированная защита — переходной этап от полной химизации к получению экологически безопасной продукции, обеспечивающий при этом также и рост урожайности производимой продукции в среднем на 15–25% и экономии денежных средств сельхозпроизводителей на 25–35%.

Комплексное и регулярное использование биопрепаратов на разных фазах роста растения позволяет восстановлению нормальной структуры микробного ценоза пашни, снятия почвоуплотнения. С учетом структуры и микрофлоры почвы, климатических факторов, а также сортов сельскохозяйственных культур, для повышения эффективности биологических препаратов подбираются дополнительно избирательные штаммы (специфичные, активные, вирулентные), а с помощью математического моделирования проверяется степень их морозостойкости и засухоустойчивости.

В настоящее время оздоровить почву или снизить ее инфекционный фон только химическими препаратами невозможно. Как показывают исследования последних лет, многие пестициды оказывают неоднозначное, часто отрицательное влияние на почвенную биоту. Применение пестицидов может приводить к перестройке экологической обстановки в почве, изменяя ее микро-

биоценоз — угнетая одни группы микроорганизмов и стимулируя размножение других, представители которых способны продуцировать фитотоксические вещества и тем самым усугублять негативное влияние применяемых препаратов.

Учеными установлено, что комплексное применение химических средств защиты растений в рекомендованных дозах приводит к снижению численности аммонифицирующих бактерий, происходит сдвиг микроценоза целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почве. При этом пестициды не только обуславливают токсичность почвы, но и аккумулируются в корневой системе и конечной продукции, что приводит к получению экологически неполноценной продукции.

Прогрессивные методы восстановления плодородия почв:

- селективная инаktivация отдельных групп болезнетворных микроорганизмов с помощью биопрепаратов на основе микробов — антагонистов;
- селективная инокуляция почв, органических удобрений и семян определенными группами микроорганизмов — ответственных за увеличение важнейших элементов — азота, фосфора и т.д.;
- использование микроорганизмов участвующих в синтезе гумусовых соединений и подавление микроорганизмов — разрушающих гумус;
- инокуляция пожнивных остатков полезными микроорганизмами, участвующими в разложении пожнивных растительных остатков, контроле растительных патогенов;
- использование интегрированных методов защиты растений — это использование биопрепаратов на фоне сниженной производственной дозы пестицидов или минеральных удобрений.

Ведущая роль взаимосвязи растений и микробного сообщества в формировании микробиома почвы позволяет использовать потенциал микробиологических препаратов для производства экологически чистой продукции и при этом сохранять плодородие почв. При этом снижается токсичность и содержание фито-

патогенных микроорганизмов в почве, она обогащается агрономически ценной полезной микрофлорой, а также оказывает мощное положительное влияние на устойчивость растений к болезням, что позволяет значительно снизить потребность в пестицидах и уменьшить потери урожая.

Биопрепараты на основе микроорганизмов способны улучшать структуру почв, мобилизовать питательные вещества и снижать уровень засоленности. Такие технологии направлены на создание экологически безопасных решений для повышения продуктивности сельского хозяйства в неблагоприятных условиях.

Также биопрепараты обладают комплексным биомелиоративным действием и на мелиорированных почвах обеспечивают благоприятный режим питания возделываемых культур.

Биопрепараты и мелиорация могут использоваться совместно для повышения плодородия почв в рамках биометода — системы мероприятий, направленных на оздоровление почвы, снижение себестоимости и повышение качества сельхозпродукции.

Биопрепараты помогают запустить круговорот органики, создать питательную мульчу, разуплотнить почву, нейтрализовать патогенных грибов и бактерий, сделать доступными соединения фосфора и калия, накопить биологический азот.

Таким образом, совместное применение биопрепаратов и мелиорации позволяет комплексно подходить к улучшению плодородия почв, что в итоге может привести к повышению урожайности и рентабельности.

Список литературы

1. Волков С. Н. Мелиорация и водное хозяйство / С. Н. Волков. — М.: КолосС, 2010. — 432 с.
2. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв / Ф. Р. Зайдельман. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — 352 с.
3. Ибатуллина Р. П., Крошечкина И. Ю. [и др.] Опыт успешного внедрения элементов биологизированной системы земледелия для повышения плодородия почвы и наращивания производства на примере хозяйств Республики Татарстан — Казань: АО «Издательский дом «Казанская недвижимость», 2022. — 164 с.

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ
ВИНОГРАДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АГРОХИМИКАТОВ
В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

М. И. Чумак, О. Г. Белоус

Федеральный исследовательский центр

«Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи,

e-mail: oksana191962@mail.ru; grozderos@mail.ru

Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, т. +7(918)105 91 15

Аннотация: проведены исследования по влиянию органоминерального удобрения, содержащего кальций, на ростовые процессы, функциональное состояние и продуктивность винограда в условиях влажных субтропиков Краснодарского края. Показано увеличение содержания в листьях каротиноидов и изменение соответственно отношения хлорофиллов к каротиноидам. Улучшение состояния растений способствовало более активным ростовым процессам. Существенные прибавки в ростовых процессах отмечены на варианте с расхода агрохимиката 2,0 кг/га. На этом варианте формирулось и большее по сравнению с другими обработками количество сигнальных гроздей (первая гроздь на побеге). На всех вариантах с обработкой закладывалось меньше гроздей, чем на контроле, что приводило к увеличению числа ягод и их массы. В итоге, некорневые обработки привели к повышению урожайности винограда.

Ключевые слова. Виноград; влажные субтропики; некорневая подкормка; пигменты; урожайность; рост и развитие

**THE FUNCTIONAL STATE OF GRAPE PLANTS
WHEN USING AGROCHEMICALS IN HUMID SUBTROPICAL
CONDITIONS OF RUSSIA**

M. I. Chumak, O. G. Belous

Annotation: studies have been conducted on the effect of organomineral fertilizers containing calcium on the growth processes, functional state and productivity of grapes in the humid subtropics of the Krasnodar region. An increase in the content of carotenoids in the leaves and a change in the ratio of chlorophylls to carotenoids, respectively, are shown. The improved condition of the plants contributed to more active growth processes. Significant increases in the growth process were noted in the variant with an agrochemical consumption of 2.0 kg/ha. In this variant, a larger number of signal bunches (the first bunch on the shoot) was obtained compared to other processing options. All processing options contained fewer bunches than in the control, which led to an increase in the number of berries and their weight. As a result, non-root treatments led to an increase in vineyard yields.

Keywords. Grapes; humid subtropics; foliar top dressing; pigments; yield; growth and development

Как известно, успех выращивания любой сельскохозяйственной культуры, в т.ч. и винограда, зависит тщательного изучения почвенно-климатических условий выбранного места, а также, биологических характеристик сорта [2–8, 11]. На сегодняшний момент в зоне влажных субтропиков стоит вопрос о восстановлении виноградарства, что требует проведения исследований в первую очередь по подбору адаптивного сортимента, а также по корректировке агротехники выращивания лоз.

Еще в 1954 году на опытно-производственных участках Института горного садоводства и цветоводства, в настоящий момент — Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН), было высажено более 200 сортов различных эколого-географических групп столового винограда, с целью подбора наиболее продуктивных и качественных для промышленного размножения в условиях влажных субтропиков России. По итогам многолетнего исследования, были опубликованы многочисленные научные труды [1, 9, 10]. По результатам исследований были подобраны наилучшие сорта различных сроков созревания, обеспечивающие поступление свежего винограда в течении 3,5–4 месяцев, молодые

плантации давали урожай 10–12 тонн с гектара. Помимо подбора сортов стоял вопрос и о разработке агротехнических мероприятий [1, 10].

Черноморское побережье Краснодарского края относится к влажным субтропикам. Летняя погода в этой зоне, в среднем, устанавливается 5 мая, когда среднесуточная температура превышает +15 °С и продолжается по вторую декаду октября. Лето сухое, минимум осадков приходится на июнь-август, август является самым теплым месяцем, среднесуточная температура составляет 23,6 °С, средняя температура июля — 23,3 °С, характерна высокая влажность воздуха (в среднем в период вегетации 76–78 %). Зона влажных субтропиков характеризуется высокой солнечной инсоляцией — от 180,4 кВтч/м² (май) до 217 кВтч/м² (июль); в осенние месяцы несколько ниже (54,3 кВтч/м² в ноябре и 140,7 кВтч/м² в сентябре).

Цель наших исследований — изучение физиолого-биохимических особенностей ряда сортов винограда при использовании агрохимикатов во влажно-субтропической зоне возделывания.

В данном исследовании дана информация по одному из сортов — Сагрантино. Возраст лозы — 7 лет, посадочный материал был получен путем укоренения черенков от материнской лозы, привезённой из Италии, регион Умбрия. Интерес к данному сорту вызван тем, что Сагрантино имеет рекордно высокое содержание полифенолов — 4174 мг/кг. Для сравнения, у большинства красных технических сортов винограда этот показатель находится на отметке 2500 мг/кг.

Терруар испытания расположен в городе Сочи, экспозиция юго-восточная на высоте 264 м н.у.м., посадка по схеме 2*1,5 м, формировка кустов — высокоштамбовый вертикальный кордон. Штамб высотой 80 см, длина плечей кордона равна половине расстояния между кустами. На участке принято задержание междурядий. В марте при подвязке лоз внесится 90 г/м² аммиачной селитры и 100 г/м² суперфосфата.

Почва участка карбонатная на остаточном карбонатном желтоземе, рН слабощелочная — 7,4 единиц, содержание гумуса 2,9 %, сумма обменных оснований в горизонте 20–40 см составляет 23,83 моль(экв)/кг.

В качестве опытного агрохимиката нами использовано органоминеральное кальций содержащее удобрение Эфикал, содержащий 1,4 % органического азота, 27,0 % кальция (СаО) и свободные аминокислоты. Раствор удобрения имеет слабокислую реакцию — 5,4 единицы. Некорневые подкормки проводились двукратно: 1-я — в фазе начала образования ягод, 2-я — через 14 дней после первой подкормки, расход агрохимиката — 2,0 (второй вариант); 2,5 (третий вариант) и 3,0 кг/га (третий вариант), расход рабочего раствора — 800 л/га. В качестве контроля проводилась обработка растений водой. Площадь опытной делянки — 40 м², площадь учетной делянки — 10 м². Повторность — четырехкратная.

При проведении физиологических исследований использованы общепринятые методики, исследования выполнены в лаборатории физиологии и биохимии растений Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНИЦ РАН). Повторность лабораторных анализов — трехкратная. Активность фотосинтетического аппарата определяли в листьях при экстрагировании пигментов 96 %-м этанолом по методу А. А. Шлыка, по спектрам поглощения: для хлорофилла *a* — 662 нм, хлорофилла *b* — 644 нм, каротиноидов — 440,5 нм, снятым на спектрофотометре ПЭ-5400ви (Россия); расчет содержания вели с использованием формул Смита и Бенитеза [12].

Статистический анализ результатов исследований проведен с применением пакета статистических программ STATGRAPHICS Centurion XV и математического пакета программ MS Excel с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Отличия при $p < 0.05$ считались статистически значимыми.

Анализ ростовых процессов показал, что на первом варианте площадь листа и прирост побегов в 1,2 раза превышает контроль (таблица 1). В то же время на 3 варианте прирост невелик, почти на уровне контроля, при этом формируется небольшой по площади лист (в среднем в 1,4 раза меньше, чем на контроле). Активные ростовые процессы на варианте 1 привели к заложению меньшего (в два раза) количества гроздей, при том, что на 3 варианте в 1,2 раза больше заложено гроздей, чем на контроле (таблица 1).

Опытные лозы заложили разное количество сигнальных гроздей (первые грозди на побеге), так при обработке винограда агрохимикатом с нормой расхода 2,0 кг/га (первый вариант) растения заложили в среднем 41 сигнальную гроздь, в то время, как на остальных вариантах в среднем от 2 до 16 гроздей (на контроле — в среднем 19). С учетом сигнальных гроздей ситуация иная, на первом варианте количество гроздей всего в 1,1 раза меньше, чем на контроле; а на 3 варианте общее количество заложенных гроздей значительно меньше, чем на контроле, т.к. не все лозы этого варианта заложили сигнальные (таблица 1). Средняя длина одной грозди на первом варианте 2 (норма расхода агрохимиката 2,0 кг/га) больше, чем на контроле (таблица 1), в то время как при расходе агрохимиката 2,5 кг/га грозди меньше.

Как показал анализ результатов, существенные прибавки в ростовых процессах (таблица 1) получены только при норме расхода агрохимиката 2,0 кг/га (вариант 1), на варианте 2 (норма расхода агрохимиката 2,5 кг/га) увеличение площади листа значимо, но не является существенным. Существенное увеличение количества гроздей выявлено на при норме расхода агрохимиката 3,0 кг/га, в то время как снижение количества гроздей при норме расхода агрохимиката 2,0 кг/га (1 вариант) тоже существенное.

Таблица 1 — Оценка роста и развития растений в зависимости от варианта опыта

Вариант	S листа, см ²	Прирост побегов, см	Среднее количество гроздей на растении, шт.	Среднее количество гроздей с учетом сигнальных, шт.	Средняя длина одной грозди, см
Контроль, фон NPK	63,7	111,6	54	73	9,7
2,0 кг/га	77,8	133,6	27	68	12,5
2,5 кг/га	70,6	127,5	49	65	8,2
3,0 кг/га	44,1	121,3	66	68	11,5
НСР05	12,6	56,2	10,9	9,45	2,8

Таблица 2 — Качественный состав урожая в зависимости от варианта опыта

Вариант	Количество завязей с учетом сигнальных гроздей, шт.	Среднее количество ягод в грозди, шт.	Средняя масса грозди, кг	Средняя масса ягод, г
Контроль, фон NPK	97	42,0	0,103	2,41
2,0 кг/га	68	64,3	0,218	3,51
2,5 кг/га	68	80,0	0,150	1,88
3,0 кг/га	96	62,0	0,134	2,09
НСР05	5,67	26,0	0,053	0,16

Количество завязей на контроле и третьем варианте заложено больше, чем на остальных вариантах, в среднем 96–97 шт. на гроздь (таблица 2). Однако, при обработках агрохимикатами меньше завязей опало и в итоге, среднее количество ягод на гроздь больше, чем на контроле, так на варианте с нормой расхода 2,5 кг/га (второй вариант) зафиксировано в среднем 80 шт. ягод на грозди (таблица 2).

Горошащиеся ягоды не зафиксированы. На вариантах 1 и 3 масса ягод составила в среднем 3,51 и 2,09 г, соответственно, однако прибавка к контролю отмечена только на первом варианте (с расходом агрохимиката 2,0 кг/га) — 55 % (таблица 2). На остальных вариантах с обработкой агрохимикатом произошла потеря в весе ягод по сравнению с контролем, т.к. в гроздях этих вариантов ягод было много — в среднем 62–80 шт., соответственно вес их меньше, чем на контроле. Учитывая большую массу ягод в грозди, на первом варианте отмечено и превышение массы самих гроздей (таблица 2). При этом, увеличение массы грозди обусловлено не только массой ягод, но и их количеством, в связи с чем на втором и третьем вариантах прибавка составила 45–64 % (таблица 2). На варианте 2 с нормой расхода агрохимиката 2,0 кг/га отмечена существенная прибавка в массе грозди и ягоды (таблица 3).

Таблица 3 — Урожайность винограда в зависимости от варианта опыта

Вариант	Урожайность, кг/куст	Прибавка урожая	
		кг	%
Контроль, фон NPK	7,5	—	—
2,0 кг/га	14,8	7,28	109
2,5 кг/га	9,8	2,23	33
3,0 кг/га	9,1	1,62	24
НСР05	3,28	—	—

Продуктивность лоз на вариантах с обработками агрохимикатом выше, чем на контроле (таблица 3). Максимальная урожайность отмечена на варианте 2, на остальных вариантах (варианты 3 и 4, с нормой расхода агрохимиката 2,5 кг/га и 3,0 кг/га) прибавка к контролю составила 1,62 кг и 2,23 кг, соответственно.

На всех вариантах с обработками агрохимикатом получены прибавки в урожайности растений (таблица 3), но существенное увеличение отмечено только на первом варианте с расходом агрохимиката 2,0 кг/га за счет увеличения массы гроздей и небольшим увеличением количества ягод в них.

Такой результат определяется функциональным состоянием растений, которое обуславливает и активность синтетических процессов, лежащих в основе ростовых, в связи с чем нами проведено исследование активности фотосинтетических пигментов (таблица 4).

Как показал анализ данных пигментного состава, лучшее функциональное состояние отмечено на вариантах с некорневыми обработками, так как на данных вариантах выше содержание каротиноидов, которые выступают в качестве элементов специфической защиты растений в условиях высокой инсоляции и пониженной водообеспеченности. При этом, на первом и втором опытных вариантах ниже отношение зеленых пигментов к каротиноидам, что также характеризует лучшее функциональное состояние растений.

Таблица 4 — Характеристика пигментного состава листьев винограда в зависимости от варианта опыта, мг/г сырой массы

Вариант	Ca	Cb	Σхлор.	Скар.	Ca/Cв	Σхлор./ Σкар.
Контроль, фон NPK	1,32	0,44	1,75	0,37	3,03	4,68
2,0 кг/га	1,47	0,39	1,86	0,49	3,74	3,78
2,5 кг/га	1,22	0,74	1,96	0,51	1,65	3,81
3,0 кг/га	1,51	0,51	2,02	0,43	2,96	4,65

В результате исследований показано, на виноградниках в зоне влажных субтропиков при обработках кальций содержащим органическим удобрением отмечается более активная синтетическая деятельность, что характеризуется состоянием пигментного аппарата опытных растений. Это оказывает значимое влияние на рост и развитие растений. Так, отмечено существенное влияние на ростовые процессы (площадь листа, прирост побегов на лозе), массу грозди и ягоды.

При внесении кальций содержащего органического удобрения на всех вариантах получены прибавки в урожайности растений.

Так как на сегодняшний момент идут активные посадки виноградников в Краснодарском крае использование кальций содержащего органического удобрения является целесообразным при возделывании винограда в зоне влажных субтропиков.

Список литературы

1. Белоус О. Г., Рындин А. В. Проведение испытаний новых регуляторов роста с учётом особенностей субтропических культур и условий влажных субтропиков // Перспективы использования инновационных форм удобрения, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: мат. докл. уч. X науч.-прак. конф. «Анапа-2018». — М.: ООО «Плодородие», 2018. — С.29–32. — ISBN 978-5-9500529-6-5
2. Власова О. К., Магомедова Е. С., Власова О. К., Магомедова Е. С. Научные аспекты рационального размещения и использования виноградных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12–9. — С. 1653–1657

3. Дараселия М. К., Воронцов В. В. Субтропические культуры в выполнении продовольственной программы. — Тбилиси: Мицниереба, 1986. — 168 с.
4. Ильина И. А., Петров В. С., Ненько Н. И., Кудряшова В. В., Запорожец Н. М., Схаляхо Т. А. Физиологические и биохимические изменения технических сортов винограда в весенне-летний период // Виноделие и виноградарство. — 2009. — № 5. — С. 20–22
5. Ильина И. А., Петров В. С., Якуба Ю. Ф., Схаляхо Т. В. Биохимические и физиологические параметры различных по биологии сортов винограда при изменении экологии ампелоценозов // Виноделие и виноградарство. — 2008. — № 3. — С. 30–31.
6. Киселева Г. К., Ильина И. А., Петров В. С., Запорожец Н. М., Соколова В. В. Физиолого-биохимические особенности листа винограда в связи с адаптацией к засухе и повышенным температурам // Плодоводство и ягодоводство России. — 2023. — № 72. — С. 35–42. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-72-35-42>
7. Негруль А. М. Генетические основы селекции винограда. — Ленинград: Изд-во Всес. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, 1936. — 148 с.
8. Ненько Н. И., Ильина И. А., Петров В. С., Схаляхо Т. В. Физиолого-биохимическая характеристика реакции растений винограда на стрессоры осенне-зимнего периода в условиях Анапо-Таманской зоны // Садоводство и виноградарство. — 2012. — № 5. — С. 19–23.
9. Огиенко Г. В. Виноградарство в горной зоне Черноморского побережья. — Сочи: Научно-исследовательский институт горного садоводства и цветоводства, 1976. — 101 с.
10. Огиенко Г. В., Бушин П. М. Агротехника винограда в субтропической зоне Краснодарского края. — Сочи: Сочин. опыт. станция субтроп. и юж. плодовых культур ВАСХНИЛ, 1959. — 22 с.
11. Олешук Е. Н., Янчевская Т. Г., Гриц А. Н. Физиолого-биохимическая оценка стрессоустойчивости винограда к абиотическим факторам // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2017. — № 1. — С. 52–56.
12. Шлык А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / Биохимические методы в физиологии растений. — М.: Наука, 1971. — С. 154–170.

УДК 631.81:631.452:631.445.41 (470.62)

ПЛОДРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, ВОВЛЕЧЕННОГО В МНОГОЛЕТНЕЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

А. Х. Шеуджен Л. М. Онищенко, В. К. Голубова

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина», Краснодар
E-mail: dekanatxp@mail.ru*

Аннотация. Показаны результаты исследований по влиянию минеральной системы удобрений на показатели плодородия чернозема выщелоченного в стационарном опыте кафедры агрохимии на базе учебно-опытного хозяйства «Кубань» при реализации зернотравяно-пропашного севооборота в Западном Предкавказье.

Ключевые слова: опыт; удобрение; почва; урожай; баланс; окупаемость; культура

FERTILITY OF LEACHED CHERNOZEM INVOLVED IN LONG-TERM AGRICULTURAL USE

A.Kh. Sheudzhen, L.M. Onishchenko, V.K. Golubova

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Krasnodar
E-mail: dekanatxp@mail.ru*

Abstract. The article presents the results of studies on the influence of mineral fertilizer system on fertility indices of leached chernozem in a stationary experiment of the Department of Agrochemistry on the basis of the educational and experimental farm "Kuban" during the implementation of grain-grass-row crop rotation in the Western Ciscaucasia.

Keywords: experience; fertilizer; soil; harvest; balance; payback; culture

Введение. В Российской Федерации Географическая сеть длительных полевых опытов с удобрениями, основанная академиком ВАСХИЛ Д. Н. Прянишниковым, функционирует более 80 лет, но несмотря на такие продолжительные исследования сегодня важность и актуальность их высока. Научная работа в агрохимических стационарах, как известно, проводятся по единой методике. Это позволяет осуществить мониторинг продуктивности сельскохозяйственных культур в различных агроэкосистемах, а также провести почвенно-агрохимические, агрометеорологические и ландшафтные наблюдения [1].

Длительные наблюдения, дают возможность оценивать реализуемые системы удобрения — важнейшего элемента в агротехнологиях, направленного на управление плодородием почв. Обозначая закономерности в отклике сельскохозяйственных культур на удобрения ученые создают модели, описывающие зависимость урожайности культур от вносимого удобрения. Однако оценка влияния климатических изменений, анализ эффективности использования растениями или, напротив, потери внесенных биогенных элементов питания объективна по результатам многолетних исследований. Достижения в агрохимической науке способствуют разработке стратегий для реализации потенциала урожая и качества продукции, устойчивости почв, вовлеченных в сельскохозяйственное использование [2, 3].

О необходимости и актуальности сведений из стационарных многолетних опытов, объективно отражающих воздействие удобрений и дающих возможность оценить агроэкономическую эффективность их использования свидетельствуют нарастающие проблемы. Снижается интегральный показатель плодородия — содержание почвенного органического вещества и средневзвешенное содержание подвижного фосфора, увеличивается вариация показателей урожайности по годам, изменяется количество и качество растительных остатков, возвращаемых в почву, а также трансформируется соотношение соединений гумуса, солей кальция и фосфора, активность почвенных микроорганизмов и ферментов, формируется отрицательный баланс элементов питания, вследствие сокращения использования удобрений [4–6].

Поэтому научная значимость длительных опытов с удобрениями Геосети несомненна. Установленные с учетом их биологических особенностей научно обоснованные дозы удобрений под культуры и уточненные агротехнологии выращивания, не только должны повышать урожайность и его качество, но и обеспечивать высокую их окупаемость [7].

Известно, что каждое десятилетие было теплее предыдущего. Однако естественные процессы в природе подвержены цикличности: суточной, сезонной, многолетней. Но уже сегодня, складывающиеся тенденции неустойчивости климата изменяют отзывчивость сельскохозяйственных культур на удобрения. Это еще один аргумент в пользу важности проведения длительных наблюдений в стационарных опытах. Положительное влияние удобрений на продуктивность культур определяют такие факторы как уровень естественного плодородия почвы, климатические и агрометеорологические условия.

В настоящее время Росгидромет приводит данные об аномалиях агроклиматических условий на территории России. Все чаще отмечаются сезонные температурные отклонения приземного воздуха. Выше климатической нормы наблюдались температуры (осредненная по СКФО: 2,39°C). Повышение температуры атмосферного воздуха особенно проявляется в зимний и летний периоды при одновременном сокращении осадков в период вегетации культур. Определен самый «сухой» год. В 2020 году выпало минимальное количество осадков (или 70 % нормы). Практически постоянно наблюдается высокий риск засухи при производстве зерновых из-за несоответствия между потребностями растений во влаге и ее запасами в почве [8].

Цель исследований — выявить направленность изменения показателей плодородия чернозема выщелоченного при длительном и систематическом применении минеральной системы удобрения культур в зернотравяно-пропашном севообороте Западного Предкавказья.

Методика. Стационарный опыт кафедры агрохимии в период проведения исследований входил в систему Географической сети опытов с удобрениями ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова.

Инициатором создания эксперимента в 1981 году был профессор доктор сельскохозяйственных наук (в то время возглавлявший кафедру агрохимии) В. Т. Куркаев. Опыт в системе Географической сети опытов с удобрениями ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова. Включен в Реестр длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации и имеет Аттестат опыта (№ 078).

Территориально опыт расположен в структурном подразделении Кубанского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина в учхозе «Кубань». Географическое положение стационара: 45°06' северной широты и 38°85' восточной долготы. Предназначен он для установления в системе *почва — растение — удобрение — климат* региональных закономерностей влияния минеральной системы удобрения культур на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, а также на отдельные показатели плодородия почвы.

Закладку стационарного опыта и агрохимические исследования осуществляли по общепринятым в Российской Федерации методическим указаниям. Схема опыта включает 16 вариантов и представляет собой выборку 1/4 часть полного факториального эксперимента 4×4×4, образованную тремя факторами: азотом, фосфором и калием с использованием четырех норм: 0; 1; 2; 3. Схема включает возрастающие дозы азота, фосфора и калия на фоне соответствующих парных сочетаний двух остальных (например, N на фоне PK). Под культуры зернотравяно-пропашного севооборота вносились единичная (низкая), двойная (средняя) и тройная (повышенная) нормы минеральных удобрений: под пшеницу и ячмень (озимые) — $N_{40}P_{30}K_{20}$, $N_{80}P_{60}K_{40}$ и $N_{120}P_{90}K_{60}$; под кукурузу на зерно — $N_{30}P_{30}K_{20}$, $N_{60}P_{60}K_{40}$ и $N_{90}P_{90}K_{60}$; под сою — $N_{20}P_{40}K_{20}$, $N_{40}P_{80}K_{40}$ и $N_{60}P_{120}K_{60}$; под подсолнечник — $N_{20}P_{30}K_{20}$, $N_{40}P_{60}K_{40}$ и $N_{60}P_{90}K_{60}$ и люцерну 2-го года жизни — $N_{10}P_{10}K_{10}$. Эти варианты как наиболее контрастные и обсуждаются в настоящей статье.

Исследования проводились в богарных условиях. Агротехника в опыте общепринятой. В пространстве повторность опыта трехкратная. Площадь одной делянки — 162 м², их размещение — рендомизированное. Урожай зерновых культур убирали

малогобаритными комбайнами Сампо-500. Растительные остатки ежегодно заделывали в почву.

Почва опытного участка — чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоголистый на лессовидных тяжелых суглинках. В соответствии с классификацией почв России (2004) агрочернозем глинисто-иллювиальный [9].

Результаты и их обсуждение. Почва, изначально имеющая удовлетворительные агрохимические свойства для выращивания сельскохозяйственных культур, по окончании третьей ротации севооборота характеризуется следующими показателями: содержание гумуса — 2,93 %, $pH_{\text{водная}}$ — 6,59 ед., $pH_{\text{солевая}}$ — 5,26 ед., сумма поглощенных оснований — 31,3 мг-экв./100 г, емкость катионного обмена — 33,2 мг-экв./100г, степень насыщенности почвы основаниями 94,3 % [10].

Гумусное состояние чернозема выщелоченного, вовлеченного в сельскохозяйственное использование — это система показателей, определяющих плодородие почвы (таблица 1).

По окончании третьей ротации севооборота без применения удобрений содержание гумуса было равно 2,93 %, повышенные нормы минеральных удобрений способствовали достоверному повышению этого показателя до 3,06 %, что относит почву к виду — слабогумусный. Однако изначально по своей видовой принадлежности чернозем выщелоченный — малогумусный. Необходимо отметить преобладание процесса новообразования гумуса в 0–20 см слое почвы за счет ежегодно поступающей надземной биомассы растительных остатков, убираемых сельскохозяйственных культур. Вниз по профилю почвы определяется постепенное снижение показателя. Для профильного распределения гумуса характерно постепенное убывание. В слое почвы 21–40 см содержание гумуса — 2,84 % и далее, соответственно, 1,74; 1,46; 1,14; и 0,64 %. Процессы минерализации в почве азотсодержащих органических остатков, по мнению В. И. Кирюшина [11], хорошо идут при соотношении углерода к азоту менее 20. Отношение C : N — показатель обогащенности гумуса почв азотом и он равен 13,2, что свидетельствует о благоприятных условиях минерализации почвенного органического вещества.

Таблица 1 — Гумусное состояние чернозема выщелоченного, вовлеченного в зернотравяно-пропашной севооборот

Показатель гумусного состояния почвы показателя		Уровень признака и характер проявления
Наименование	Значение	
Мощность гумусового горизонта, см	174	Сверхмощный
Содержание гумуса в 0-20 см слое почвы, %	2,93-3,06	Низкое
Профильное распределение гумуса в метровой толще почвы	2,93...2,84...1,74... 1,46...1,14...0,64	Постепенно убывающее
Содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, %	75,8	Высокое
Обогащенность гумуса азотом по отношению С : N	13,2	Низкая
Запас гумуса, (т/га): 0–20 см 0–100 см	71,0 341,8	Низкий Средний
Содержание органического углерода в 0–20 см слое*, %	1,81–1,90	Высокое
Содержание негидролизуемого остатка, % от С общ. 0–20 см 40–60 см	54,0 39,3	Среднее Низкое
Степень гумификации органического вещества, $\frac{C_{гк}}{C_{общ}} \times 100 (\%)$,	33,2 24,9	Высокая Средняя
Тип гумуса, (C _{гк} : C _{фк})	1,01–1,24	Гуматный; в пределах (A+AB ₁) – фульватно-гуматный

Запас гумуса в 0–20 см слое почвы низкий и он равен 71,0 т/га, тогда как в метровом слое почвы этот показатель рассчитывается в пределах 341,9 т/га, что соответствует среднему уровню. В A_н слое тип гумуса — гуматный и в гумусовом горизонте A+AB₁ — фульватно-гуматный.

Показатели продуктивности зернотравяно-пропашного севооборота. Полученные со стационарного опыта по окончании его третьей ротации свидетельствует об уровне эффективного плодородия почвы (таблица 2).

Таблица 2 — Продуктивность зернотравяно-пропашного севооборота

Вариант	Количество удобрений, кг/га д.в.			Продуктивность севооборота, т з. е. на 1 га
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Первая ротация				
000	0	0	0	58,42
111	310	260	180	68,10
222	620	520	360	71,41
333	930	780	540	72,00
Вторая ротация				
000	0	0	0	54,14
111	280	280	200	65,31
222	560	560	400	72,75
333	840	840	600	75,40
Третья ротация				
000	0	0	0	46,11
111	280	270	200	54,49
222	560	540	400	63,12
333	840	810	600	63,66

Без применения удобрений продуктивность севооборота относительно первой ротации, во второй и третьей ротациях уменьшалась и она, убывая на 14,0 и 20,1 % была равна 58,4 т з. е. на 1 га; 54,1 и 46,1 т з. е. на 1 га соответственно. Внесение дифференцированных норм, содержащих азот, фосфор и калий под сельскохозяйственные культуры в третьей ротации относительно первой и второй ротаций севооборота уменьшали показатели продуктивности. При применении единичной нормы на 19,3 и 14,0 %, двойной — на 10,8 и 15,9 и тройной — на 10,7 и 14,8 % соответственно по ротациям.

По окончании третьей ротации севооборота рассчитан баланс азота по наиболее значимым его статьям — поступлению и выносу элементов урожая культур (таблица 3). Установлено, что

хозяйственный баланс азота был дефицитным на всех вариантах опыта и варьировал в зависимости от количества используемых удобрений. Исключение наблюдаем при применении высокой нормы в первой ротации севооборота. Хозяйственный баланс азота здесь положительный, бездефицитный и равен +18,7 кг/га при незначительном ежегодном пополнении элемента (+1,9 кг/га).

Баланс азота в севообороте был дефицитным на всех вариантах опыта третьей ротации и определялся количеством минеральных удобрений, применяемых под культуры севооборота. Наибольший дефицит элемента был на вариантах с единичной нормой (–511,1 кг/га), несколько меньше с двойной (–286,1 кг/га) и тройной (–87,1 кг/га) при ежегодном отрицательном балансе азота –46,5; –26,0 и –7,9 кг/га соответственно. Восполнение азота наибольшее рассчитывалось только на контроле и это было равно 51,9 %.

В черноземе выщелоченном хозяйственный баланс фосфора определяли нормы минеральных удобрений, применяемые в севообороте (таблица 4).

Хозяйственный баланс по фосфору без использования удобрений был отрицательный на протяжении всего периода исследований. В первой ротации он составил –274,6 кг/га, а во второй и третьей ротациях был примерно одинаков — (–336,1 и –350,7 кг/га). Минеральные удобрения в двойных и тройных нормах за первую ротацию обеспечивали максимально бездефицитный баланс элемента +186,0 и +450,2 кг/га, а за год восполнение фосфора было равно +18,6 и +45,0 кг/га соответственно. Во второй и третьей ротации эти нормы уже восполняли значительно меньше, но значения баланса между периодами были довольно близкими: +86,3; 370,9 кг/га и +84,2; +355,2 кг/га соответственно по нормам.

В эти ротации ежегодный дефицит фосфора был наибольшим на вариантах без внесения удобрений: –30,5 и –31,9 кг/га, при использовании единичных норм полного удобрения дефицит был незначительный –10,7 и –18,4 кг/га и только при применении двойных и тройных нормах минерального удобрения хозяйственный баланс по фосфору во второй и третьей ротациях был положительный, составив при этом +7,8; +33,7 кг/га и + 77,0; + 32,3 кг/га соответственно.

Таблица 3 — Хозяйственный баланс азота при минеральной системе удобрения культур по ротациям севооборота, кг/га

Вариант	Поступ- ление	Вынос	Баланс		Интенсивность баланса, %
			за ротацию	за год	
Первая ротация					
000	716,1	1 250,0	–533,9	–53,4	57,29
111	1 303,5	1 548,4	–244,9	–24,5	84,18
222	1 459,6	1 685,1	–225,5	–22,6	142,41
333	1 776,6	1 757,9	18,7	1,9	110,11
Вторая ротация					
000	404,9	1 264,2	–859,3	–78,1	32,03
111	764,9	1 551,1	–786,2	–71,5	49,31
222	1 188,8	1 902,4	–713,6	–64,8	62,49
333	1 472,3	1 978,0	–505,7	–46,0	74,43
Третья ротация					
000	679,6	1 309,8	–630,2	–57,3	51,89
111	1 025,8	1 536,9	–511,1	–46,5	66,74
222	1 380,9	1 667,0	–286,1	–26,0	82,84
333	1 660,8	1 747,9	–87,1	–7,9	95,02

В севообороте поступление калия изменялось в довольно широком диапазоне и хозяйственный баланс сложился отрицательный на всех вариантах опыта (таблица 5).

Без внесения удобрений поступление калия в почву очень варьировало: от первой ко второй ротации показатель уменьшался с 799,8 кг/га до 214,7, а затем в третьей ротации был равен 394,3 кг/га.

Таблица 4 — Хозяйственный баланс фосфора при минеральной системе удобрения культур по ротациям севооборота, кг/га

Вариант	Поступление	Вынос	Баланс		Интенсивность баланса, %
			за ротацию	за год	
Первая ротация					
000	167,6	442,2	−274,6	−27,5	37,90
111	463,6	520,3	−56,7	−5,7	89,10
222	736,6	550,6	+186,0	+18,6	133,78
333	1010,6	560,4	+450,2	+45,0	180,34
Вторая ротация					
000	50,5	386,6	−336,1	−30,5	13,06
111	343,4	461,8	−118,4	−10,7	74,36
222	631,2	544,9	+86,3	+7,8	115,83
333	924,8	553,9	+370,9	33,7	166,96
Третья ротация					
000	141,1	491,8	−350,7	−31,9	28,69
111	436,1	637,9	−201,8	−18,4	68,36
222	750,7	666,5	+84,2	+77,0	112,63
333	1 025,6	670,4	+355,2	+32,3	152,98

Вынос элемента максимален был в третьей ротации севооборота, и с довольно высокими значениями: на контроле определялась в размере 1 320,9 кг/га, а двойные и тройные нормы удобрения способствовали максимальной убыли калия — 1 648,3 и 1 791,8 кг/га соответственно. Хозяйственный баланс калия в пахотном слое чернозема выщелоченного за ротацию был наиболее дефицитным на контроле (–925,7 кг/га). Использование двойных и тройных норм удобрений в севообороте снижало дефицит калия и показатели баланса были равны — 720,5 и — 672,9 кг/га соответственно.

Таблица 5 — Хозяйственный баланс калия при минеральной системе удобрения культур по ротациям севооборота, кг/га

Вариант	Поступление	Вынос	Баланс		Интенсивность баланса, %
			за ротацию	за год	
Первая ротация					
000	799,8	1 102,5	−302,7	−30,3	72,54
111	1 111,8	1 303,7	−191,9	−19,2	85,28
222	1 381,8	1 326,8	+55,0	+5,5	104,14
333	1 588,8	1 349,2	+239,6	+24,0	117,76
Вторая ротация					
000	214,7	1 093,2	−878,5	−79,8	19,64
111	476,0	1 285,9	−809,9	−73,6	37,02
222	722,8	1 544,2	−821,4	−74,7	46,81
333	935,7	1 550,4	−614,7	−55,9	60,35
Третья ротация					
000	394,3	1 320,9	− 925,7	− 84,2	25,85
111	653,4	1 546,0	− 892,6	− 81,2	42,26
222	927,8	1 648,3	− 720,5	− 65,5	56,29
333	1 118,9	1 791,8	− 672,9	− 61,2	62,45

Интенсивность хозяйственного баланса калия при этих нормах невысокая и составляла 56,3 и 62,5 % соответственно.

Минеральные удобрения окупались максимально при единичной норме в агроценозах: зерном сои — от 4,0 до 2,9 кг/кг д.в. азота, фосфора и калия, зеленой массой люцерны третьего года жизни — 9,6 кг/кг д.в. азота, фосфора и калия, зерном кукурузы — 20,1 кг/кг д.в. азота, фосфора и калия. Двойные и тройные нормы удобрения снижали окупаемость в агроценозах: сои — на 3,9 и 48,3 %, люцерны — на 16,7 и 25 % и кукурузы — на 23,9 и 39,8 %.

Заключение. Систематическое и многолетнее применение повышенных норм минеральных удобрений на черноземе выщелоченном после третьей ротации зернотравяно-пропашного севооборота способствовало повышению содержания гумуса до 3,06 %, тогда как без удобрений показатель был равен 2,93 %. Определено преобладание процесса новообразования гумуса в верхнем слое почвы.

Продуктивность зернотравяно-пропашного севооборота по окончании третьей ротации несколько снижалась, но оставалась на достаточно высоком уровне за счет потенциального плодородия почвы.

Минеральные удобрения в агроценозах полевых культур окупались максимально при единичной норме. Хозяйственный баланс азота, фосфора и калия зависел от внесения дифференцированных норм удобрений. Баланс азота и калия был дефицитным на всех вариантах опыта. По фосфору хозяйственный баланс был положительный при применении двойных и тройных норм полного минерального удобрения во второй и третьей ротациях.

Список литературы

1. Шкуркин, С. И. Стратегия развития географической сети опытов с удобрениями // С. И. Шкуркин, О. В. Рухович, В. А. Романенков и др. // Проблемы агрохимии и экологии. — 2024. № 4. — 4–8. — <http://agropproblem.soil.msu.ru/images/24-4/24-4-04.pdf> (дата обращения: 29.08.2025). doi: 10.26178/AE.2024.15.27.008.
2. Сычёв В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. — М.: РАН, 2019. — 328 с. ISBN 978-5-907036-01-7.
3. Шарый П. А. Модели действия удобрений: критический обзор // П. А. Шарый, Л. С. Шарая, О. В. Рухович // Проблемы агрохимии и экологии. — 2024. № 4. — 37–45. — <http://agropproblem.soil.msu.ru/images/24-4/24-4-37.pdf> (дата обращения: 29.08.2025). doi: 10.26178/AE.2024.38.78.005 Сычёв В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–14. 10.31857/S0002188120060125.
4. Сычёв В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–14. 10.31857/S0002188120060125.
5. Пронько В. В. Изучение длительного действия минеральных удобрений в стационарном опыте в Степном Поволжье / В. В. Пронько, Д. Ю. Журавлев, Т. М. Ярошенко, Н. Ф. Климова // Агрохимия. 2023. № 2, С. 15–28. DOI: 10.31857/S0002188123020126.
6. Караулова Л. Н., Чуян О. Г., Митрохина О. А. Изменение параметров агрохимических свойств черноземных почв в условиях длительного применения удобрений // Земледелие. 2024. № 2. С. 13–19. doi: 10.24412/0044-3913-2024-2-13-19.
7. Сычёв В. Г. Методика разработки нормативов окупаемости удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур / В. Г. Сычёв, А. А. Завалин, С. А. Шафран и др. М.: ВНИИА, 2009. — 48 с.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. [Электронный ресурс]. — Москва, 2025. — 135 с. ISBN 978-5-906099-58-7. (дата обращения 31.08.2025).
9. Классификация и диагностика почв России. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с. Полевой определитель почв. — М.: Почвенный ин-т В. В. Докучаева, 2008. — 182 с.
10. Шеуджен А. Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Т. Н. Бондарева и др. // Агрохимия. — 2017. — № 5. — С. 3–11.
11. Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011 — 442 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АГРОХИМИКАТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ ОЗИМОЙ РЖИ

¹А. С. Шкуркина, ^{1,2}Д. В. Виноградов

¹ ФГБОУ ВО РГАТУ

390044, Рязань, ул. Костычева, д.1

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

¹anna.agroeco@mail.ru

²vdv-rz@rambler.ru

Аннотация. В статье предложен анализ результатов выращивания гибридов озимой ржи в условиях Московской области на дерново-подзолистых почвах. В исследованиях изучено действие микроудобрений на продуктивность гибридов ржи. По результатам исследований выявлено увеличение показателей структуры урожая и урожайности по всем вариантам озимой ржи, где применялись агрохимикаты. Высокие показатели урожайности выявлены на делянках с гибридом ЗУ Форзетти. Максимальная урожайность получена на варианте ЗУ Форзетти + Фолирус Актив (4,14 т/га). По другим гибридам высокую урожайность показали варианты: КВС Раво + Фолирус Актив (3,57 т/га), КВС Этерно + Фолирус Актив (3,26 т/га), КВС Раво + Фолирус Макси (3,16 т/га), КВС Этерно + Арксил ККР (3,03 т/га). Анализируя качественные показатели, по вариантам содержание белка варьировало в пределах 9,4–11,5%, более низкие показатели выявлены у гибрида ЗУ Форзетти (9,4–9,9%), высокие — у КВС Этерно (10,5–11,5%). Гибрид озимой ржи ЗУ Форзетти показал большую экономическую эффективность, как по варианту без обработки, так и на вариантах с обработками всеми исследуемыми агрохимикатами.

Ключевые слова: озимая рожь; Нечерноземная зона; агрохимикат; урожайность; качество зерна; экономическая эффективность

APPLICATION OF AGROCHEMICALS IN WINTER RYE AGROCENOSSES

¹A. S. Shkurkina, ^{1,2}D. V. Vinogradov

¹ FSBEI HE «Ryazan State Agrotechnological University
named after P.A. Kostychev», Ryazan, Russia

² Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

¹anna.agroeco@mail.ru

²vdv-rz@rambler.ru

Annotation. The article analyses the results of cultivation of winter rye hybrids in conditions of Moscow region on sod-podzolic soils. The effect of microfertilisers on the productivity of rye hybrids is studied in the research. According to the results of two-year studies, revealed an increase in yield structure and yield indicators for all variants of winter rye, where agrochemicals were applied. High yields were found on plots with hybrid ZU Forzetti. The maximum yield was obtained in the variant ZU Forzetti + Folarus Active (4.14 tonnes/ha). For other hybrids, high yields were shown by variants: Ravo + Foliar Active (3.57 t/ha), Eterno + Foliar Active (3.26 t/ha), Ravo + Foliar Maxi (3.16 t/ha), Eterno + Arxoil KKR (3.03 t/ha). Analysing the qualitative indicators, the protein content varied between 9.4-11.5% for the variants, lower indicators were found in hybrid ZU Forzetti (9.4-9.9%), high - in Eterno (10.5-11.5%). Winter rye hybrid ZU Forzetti showed greater economic efficiency, both in the variant without treatment, and in variants with treatment with all the studied agrochemicals.

Keywords: winter rye; the Non-chernozem zone; agrochemical; crop yield; grain quality; economic efficiency

Актуальность исследований

Применение правильно выстроенных агротехнических методов позволяет получать урожай озимой ржи, не зависимо от погодных условий, с минимальными затратами ресурсов и труда. Кроме этого, использование агрохимикатов на зерновых культурах повышает резистентность к вредителям и болезням [6, 9].

Эффективность применения агрохимикатов напрямую зависит от анализа их внесения в зависимости от требований агротехнологии, сортов культуры, а также уровня плодородия почвы [3, 4].

Для улучшения условий выращивания гибридов озимой ржи в Нечерноземной зоне важными компонентами являются регуляторы роста растений, комплексные органические и минеральные удобрения. Благодаря внесению удобрений, растения лучше развиваются, при правильном подборе системы удобрений происходит снижение полегания урожая, особенно при выращивании длинностебельных сортов озимой ржи [1].

В перечне агрохимикатов, выделяем эффективность применения гуматов, которые существенно увеличивают урожай озимой ржи, благотворно влияя на плодородие почв [5]. Минеральные удобрения закрепляют своё действие на фоне органических удобрений; но для формирования лучшего качества зерна озимой ржи необходимо учитывать точные сроки и дозы внесения удобрений, а также их комплексное применение вместе с применяемыми в агротехнологии средствами защиты растений [7].

В условиях центрального Нечерноземья на дерново-подзолистых почвах с низким уровнем плодородия, где часто наблюдается нехватка азота и фосфора, минеральные удобрения необходимы для озимой ржи с самого начала своего развития. Выбор форм азотных удобрений играет достаточно важную роль, если после перезимовки растения озимой ржи оказались слабыми, то необходимо применить аммиачную селитру, при успешной перезимовке — применения КАСов и карбамидов способствует повышению продуктивности [2].

Кроме этого, важным компонентом в выращивании высокого урожая озимой ржи являются стимуляторы роста — антистрессанты, являющиеся природными и синтетическими органическими соединениями, стимулирующие иммунитет растений, например, такой как агрохимикат Арксоил ККР. Данные препараты имеют свойство в малых дозах оказывать влияние на обмен веществ растений, что приводит к значимым изменениям роста и развития.

Комплексный подход к выстраиванию системы применения различных видов агрохимикатов в агроценозе озимой ржи с уче-

том почвенной среды является неотъемлемой частью успеха в получении здорового урожая. Интерес ученых-аграриев и производителей к данному вопросу в настоящее время растет стремительно, в связи с чем, появляются новые формы и модели применения агрохимикатов, и необходимость их практического исследования, что и определило направление наших исследований.

Цель исследований: определение эффективности использования агрохимикатов в агроценозах гибридов озимой ржи в условиях центральной части Нечерноземной зоны.

Задачи исследований: определить динамику развития растений гибридов озимой ржи на фоне использования различных агрохимикатов; определить структуру урожая, урожайность и качественные показатели в зависимости от изучаемых факторов; выявить экономическую эффективность предлагаемых элементов технологии выращивания озимой ржи.

Материалы и методы исследований

Полевые исследования осуществлены в условиях Московской области в 2021–2023 гг. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Средние показатели агрохимического состава почвы (0–20 см): гумус — 2,0–2,2%, NO_3 — 7,63 мг/кг; NH_4 — 1,37 мг/кг; P_2O_5 — 160 мг/кг; K_2O — 173 мг/кг; pH_{KCl} — 5,46.

Агротехнические мероприятия по выращиванию озимой ржи строились согласно рекомендациям для условий Нечерноземной зоны [8]. В качестве предшественника использовался горох на зерно.

Объект исследований являлась озимая рожь гибридов КВС Раво, ЗУ Форзетти, КВС Этерно, которая высевалась в I декаде сентября при норме посева 2,5 млн шт. всхожих семян / га. Фоновая доза удобрений — $\text{N}_{115}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$, при внесении под предпосевную культивацию и азотной подкормки в виде ранне-весенней подкормки (60 кг д.в./га). Согласно схеме опыта применяли агрохимикаты по вегетации растений двукратно (осенью 2 л/га и весной 3 л/га) в комплексе с обработкой пестицидами: Фолирус Актив, 2 л/га, Фолирус Макси, 2 л/га, Лебозол-полный уход. Арксоил ККР применяли в дозе 0,15 л/га так же двукратно.

Результаты исследований

В опытных условиях горох, убираемый примерно за 1,5 месяца до посева озимой ржи, давал возможность качественно подготовить почву и в оптимальные сроки посеять озимую культуру. Данное размещение озимых культур в севообороте является типичным для центрального Нечерноземья и, учитывая природно-экономические условия и сложившуюся структуру посевных площадей, вполне целесообразным.

Применение в опыте агрохимикатов позволило повысить выживаемость растений озимой ржи (рисунок 1).

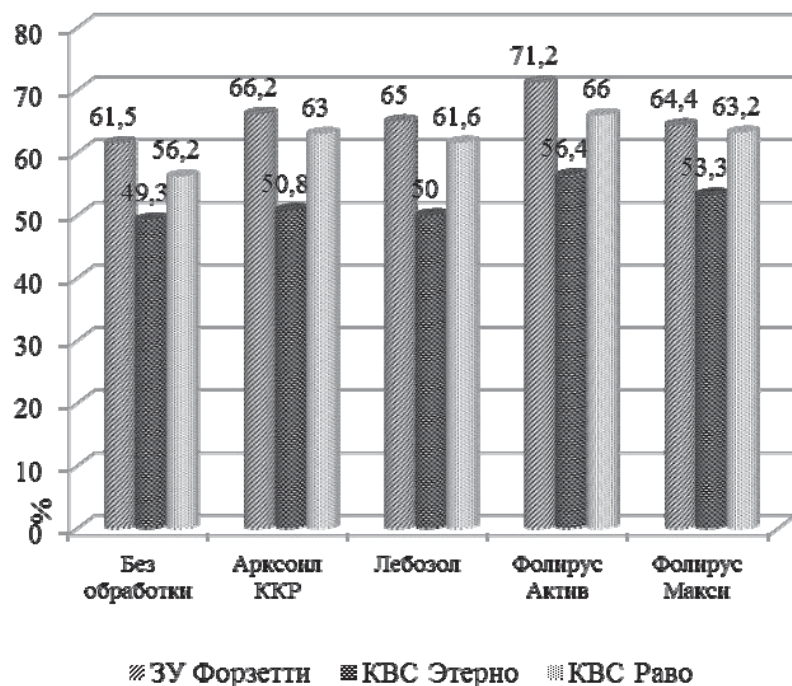


Рисунок 1 — Общая выживаемость (%) растений озимой ржи в зависимости от изучаемого фактора

Так, в среднем, высокие показатели выживаемости выявлены на вариантах с выращиванием гибрида ЗУ Форзетти (61,5–71,2%). При использовании агрохимикатов в агроценозах озимой ржи, высокая выживаемость отмечалась на вариантах с Фолирус Актив (56,4–71,2%) и Арксоил ККР (50,8–66,2%). В среднем, максимальная выживаемость растений выявлена на вариантах опыта ЗУ Форзетти + Фолирус Актив (71,2%), ЗУ Форзетти + Арксоил ККР, что на +9,7% и +4,7% соответственно больше вариантов без обработки агрохимикатами.

Отметим, что в осенне-зимний период 2022/2023 гг. в Московской области, особенно в ее южной и юго-восточной части, сложились неблагоприятные условия для перезимовки озимых зерновых культур. Вследствие резких перепадов температур во все зимние месяцы, большая часть посевов озимой ржи была повреждена вследствие выявления притертой ледяной корки. Регулярное чередование морозной погоды с оттепелью, способствовало образованию существенной по толщине (до 20–25 см) ледяной корки, что являлось причиной гибели озимых зерновых. В период проведения исследований все гибриды озимой ржи были повреждены данным опасным природным явлением. В опыте, в зимний период 2022/2023 гг. повреждения ржи составили от 28,7% до 48,8%, лучшая выживаемость выявлена по вариантам с гибридом ЗУ Форзетти.

Формирование структуры урожая ржи во многом зависела от варианта исследований (таблица 1).

В среднем, высокие показатели растений ржи перед уборкой выявлено при посеве ЗУ Форзетти — на вариантах Фолирус Актив (171,9 шт./м², +16,6%), Арксоил ККР (159,6 шт./м², +8,2%). Данная закономерность действия агрохимикатов прослеживалась и по гибридам КВС Этерно и КВС Раво. Показатели числа зерен в колосе (35,5–31,4 шт.) и продуктивной кустистости (1,49–1,13) повышались при обработке всеми исследуемыми агрохимикатами, и существенно по гибридам не отличались. Более высокие показатели массы 1000 семян выявлены по растениям КВС Этерно (41,6–37,3 г), где максимальное значение — на варианте с обработкой Фолирус Актив (41,6 г, +11,5%).

Таблица 1 — Основные показатели структуры урожая и урожайность гибридов озимой ржи в зависимости от варианта обработки агрохимикатом

Вариант обработки агрохимикатом	Количество растений перед уборкой, шт./м ²	Число зерен в колосе, шт.	Продуктивная кустистость, ед.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га
ЗУ Форзетти					
Без обработки	147,4	31,4	1,33	37,9	3,26
Аркоил ККР	159,6	35,5	1,44	38,7	3,76
Лебозол	157,8	33,6	1,37	39,7	3,63
Фолирус Актив	171,9	34,4	1,49	39,6	4,14
Фолирус Макси	154,7	33,2	1,33	38,3	3,48
КВС Этерно					
Без обработки	115,3	33,0	1,26	37,3	2,81
Аркоил ККР	120,5	33,0	1,38	40,2	3,03
Лебозол	118,4	31,9	1,26	40,7	2,86
Фолирус Актив	132,7	33,7	1,33	41,6	3,26
Фолирус Макси	126,9	33,1	1,28	39,7	2,98
КВС Раво					
Без обработки	136,6	34,2	1,12	36,4	2,85
Аркоил ККР	151,5	34,6	1,20	36,9	3,13
Лебозол	149,3	34,7	1,15	37,1	2,97
Фолирус Актив	160,8	36,2	1,22	37,5	3,57
Фолирус Макси	152,6	34,8	1,17	37,1	3,16
НСР ₀₅ , взаимодействия АВ	12,6	1,44	0,74	1,98	2,16

В среднем за два года исследований, высокие показатели урожайности выявлены на делянках с гибридом ЗУ Форзетти. Максимальная урожайность получена на варианте ЗУ Форзетти + Фолирус Актив (4,14 т/га). По другим гибридам высокую урожайность показали варианты: КВС Раво + Фолирус Актив (3,57 т/га), КВС Этерно + Фолирус Актив (3,26 т/га), КВС Раво + Фолирус Макси (3,16 т/га), КВС Этерно + Аркоил ККР (3,03 т/га).

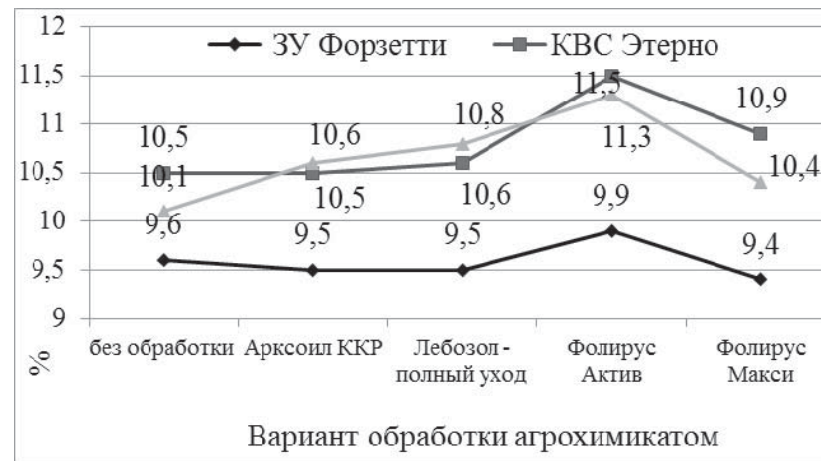


Рисунок 2 — Содержание белка (%) в зерне гибридов озимой ржи в зависимости от обработки агрохимикатом

Показатель содержания белка в сортах и гибридах чаще всего наблюдается в пределах значения 10,5–12,0%, и на продовольственные цели не нормируется.

Все изучаемые гибриды озимой ржи проявили слабую отзывчивость по образованию белка при использовании агрохимикатов, исключение составили варианты с применением Фолирус Актив (рисунок 2).

Так, достоверное максимальное увеличение белка в зерне ржи выявлено по вариантам с действием Фолирус Актив: 11,5% — по гибриду КВС Этерно (+1,0% к варианту без обработки), 11,3% (+1,2%, КВС Раво), 9,9% (+0,3%, ЗУ Форзетти). В целом, по вариантам содержание белка варьировало в пределах 9,4–11,5%, более низкие показатели выявлены у гибрида ЗУ Форзетти (9,4–9,9%), высокие — у КВС Этерно (10,5–11,5%).

Отметим, что для производителей снижение показателя белка ниже 10% указывает на то, что в течение вегетационного периода не были израсходованы все резервы в технологии выращивания озимой ржи. Часто снижение происходит вследствие низкой внесенной дозы удобрений, прежде всего азотной, особенно на низкоплодородных почвах, или примененной более

высокой нормы высева культуры, когда усиливается конкуренция среди растений ржи за питание. Пониженные показатели белка в зерне могут свидетельствовать о развитии болезней в агроценозах озимой ржи, например наличием эпифитотий корневых гнилей. Учитывая, что весь семенной материал в разной степени несет поверхностную инфекцию, семена озимой ржи был протравлен заблаговременно. В течение всего вегетационного периода культуры фиксировалось незначительное поражение озимой ржи корневыми гнилями, во многом, этому способствовали не самые благоприятные для развития заболевания погодные условия (рисунок 3).

В исследуемый период корневые гнили не имели широкого распространения в агроценозах озимой ржи в связи с неблагоприятными погодными условиями для развития данного заболевания. Применение агрохимикатов существенного влияния на распространение корневой гнили не оказало.

Экономическая эффективность различных вариантов обработки гибридов озимой ржи агрохимикатами рассмотрена в рисунке 4.



Рисунок 3 — Результаты учета поражения озимой ржи корневыми гнилями, %

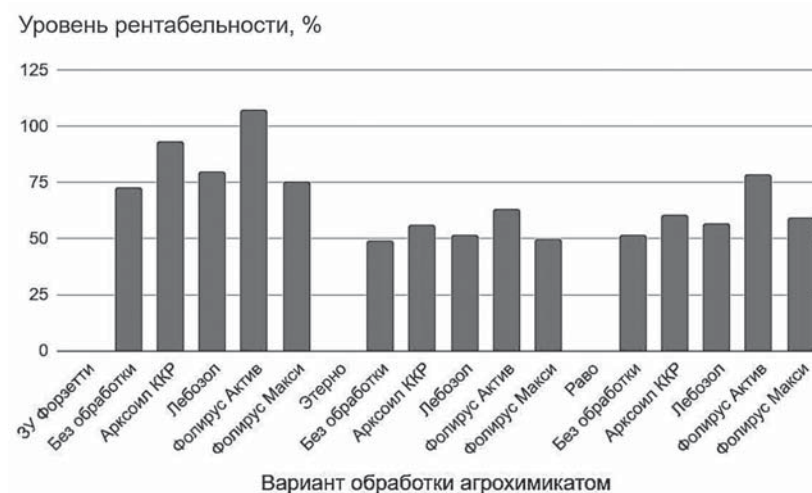


Рисунок 4 — Уровень рентабельности производства зерна озимой ржи в зависимости от варианта обработки агрохимикатом

Варианты с исследуемыми агрохимикатами по-разному показывали эффективность на гибридах озимой ржи ЗУ Форзетти, КВС Этерно, КВС Раво, тем не менее, все обеспечивали прирост рентабельности производства озимой ржи. Наилучший эффект отмечался в вариантах с применением жидкого минерального удобрения Фоллирус Актив на всех трех гибридах озимой ржи. Так, на посевах гибрида ЗУ Форзетти обеспечивалась рентабельность отрасли на уровне 107,4%, на посевах гибрида КВС Этерно — 63,3%, на посевах гибрида КВС Раво — 78,9%.

В целом, можно отметить, что гибрид озимой ржи ЗУ Форзетти показал большую экономическую эффективность, как по варианту без обработки, так и на вариантах с обработками всеми исследуемыми агрохимикатами.

Выводы

Резюмируя, отметим высокую агрономическую и экономическую эффективность применения опытных агрохимикатов в технологии выращивания озимой ржи. По результатам, высокая

урожайность выявлена с гибридом ЗУ Форзетти. Максимальная урожайность получена на варианте ЗУ Форзетти + Фолирус Актив — 4,14 т/га, или +26,9% к варианту без обработки. Анализируя качественные показатели, по вариантам содержание белка варьировало в пределах 9,4–11,5%, более низкие показатели выявлены у гибрида ЗУ Форзетти (9,4–9,9%), высокие — у КВС Этерно (10,5–11,5%). Экономическая эффективность находилась в пределах 49,2–107,4%. Гибрид озимой ржи ЗУ Форзетти показал наибольшую экономическую эффективность, как по варианту без обработки, так и на вариантах с обработками агрохимикатами.

Список литературы

- Беленков, А. И. Влияние технологии возделывания озимой ржи на рост, развитие и урожайность в длительном полевом опыте / А. И. Беленков, А. А. Хрунов, А. А. Г. Аббас Убайд // Кормопроизводство. — 2023. — № 2. — С. 28–32. — EDN QLNPFZ.
- Воронов, С. И. Возделывание озимой ржи при различных уровнях интенсификации в Центральном Нечерноземье / С. И. Воронов, И. В. Киричкова, С. Ю. Новиков // Аграрная Россия. — 2023. — № 11. — С. 3–6. — DOI 10.30906/1999-5636-2023-11-3-6. — EDN OONGIK.
- Курчевский С. М. Изменение основных свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы под действием органоминеральных удобрений и бактериального препарата "Байкал ЭМ-1" / С. М. Курчевский, Д. В. Виноградов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2013. — № 4. — С. 113–116. — EDN YLRPBG.
- Курчевский С. М. Влияние различных доз минерального грунта на агрохимические показатели и продуктивность торфяных почв / С. М. Курчевский, Д. В. Виноградов, А. В. Щур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. — 2015. — № 1(25). — С. 27–31. — EDN UXKSCB.
- Пасынков А. В. Влияние возрастающих уровней минерального питания на качество различных фракций зерна озимой ржи / А. В. Пасынков, Е. Н. Пасынкова // Агрохимия. — 2023. — № 3. — С. 43–52. — DOI 10.31857/S0002188123030109. — EDN KOCLMK.
- Соколов А. А. Роль защитных мероприятий и мониторинг в агроценозах озимых зерновых культур в борьбе со злаковыми мухами / А. А. Соколов, Д. В. Виноградов, Е. М. Дедова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. — 2023. — Т. 15, № 4. — С. 68–76. — DOI 10.36508/RSATU.2023.38.48.010. — EDN MXPHDK.
- Фитосанитарное состояние посевов зерновых культур в условиях Рязанской области / Д. В. Виноградов, А. А. Соколов, Е. И. Лупова, И. С. Питюрина // Международный технико-экономический журнал. — 2016. — № 5. — С. 57–63. — EDN XBDVWJ.
- Шкуркина А. С. Выращивание озимой ржи в Центральном Нечерноземье / А. С. Шкуркина, Д. В. Виноградов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. — 2024. — № 2(78). — С. 35–43. — EDN AVBVNH.
- Эффективность использования инсектицидов при хранении зерна / В. П. Положенцев, Е. И. Лупова, Н. И. Морозова [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. — 2018. — № 2(38). — С. 53–58. — EDN XSVH

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬ. ПАТРИОТ. ЛИЧНОСТЬ (К 160-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА) <i>Ю. С. Ценч, И. В. Сидоров</i>	3
ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ И ЕЁ РОЛЬ В РАЗВИТИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРАНЕ <i>О. В. Рухович, В. А. Романенков</i>	11
РОЛЬ ДМИТРИЯ НИКОЛАЕВИЧА ПРЯНИШНИКОВА В РАЗВИТИИ АГРОХИМИИ В БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ <i>Т. Ф. Персикова, М. В. Царёва, М. Л. Радкевич</i>	22
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ ВИДЕ <i>Н. В. Абрамов, М. В. Гунгер, С. А. Семизоров, С. В. Шерстобитов</i>	35
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВАТОРОВ БИОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОСТНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД <i>Т. Ю. Анисимова</i>	44
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ В АГРОЦЕНОЗАХ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ <i>Н. Ф. Балабанова, Н. А. Воронкова</i>	59
СЕВООБОРОТ, ПЛОДОРОДИЕ И УДОБРЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ <i>Б. П. Боинчан</i>	67

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ПИТАТЕЛЬНЫЙ СТАТУС <i>О. В. Броварова</i>	80
ЦИФРОВОЕ АГРОХИМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВ — КАК ОСНОВА НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ НОРМ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ <i>Л. А. Гафурова, Г. Т. Джалилова, М. М. Даулетмуратов</i>	94
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ <i>Т. В. Гребенникова, М. М. Визирская</i>	109
ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ДИНАМИКУ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ <i>А. В. Ерегин, С. В. Ерегина</i>	119
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ <i>А. А. Завалин, Н. Я. Шмырева, А. С. Авилов</i>	130
ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, АЗОТА И МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ <i>Н. Е. Завьялова, Д. С. Фомин, С. С. Скрыбина, Я. В. Шляпина</i>	141
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА РЕТАРДАНТНОГО ТИПА НА ЕГО УРОЖАЙНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЦНЗР <i>Д. А. Карпович</i>	154
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ АГРОМАГ® НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР <i>А. В. Козлова, Н. И. Аканова</i>	164

ВЛИЯНИЕ ВНЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ И ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ <i>И. Г. Козлов</i>	175
ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЧАЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТМЕНЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В СУБТРОПИКАХ РОССИИ <i>Н. В. Козлова</i>	185
ВЛИЯНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА КЛУБЕНЬКООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ CICER ARIETINUM <i>Н. И. Кудряшова, И. В. Куцев</i>	199
КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ <i>А. Г. Левшин, И. Н. Гаспарян</i>	208
РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В КРУГОВОРОТЕ И БАЛАНСЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОВРЕМЕННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ <i>С. М. Лукин</i>	220
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОМОРФИЗМА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ <i>Д. Ю. Махкамова, Л. А. Гафурова</i>	233
ПРИЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА <i>Г. Е. Мерзлая, А. Н. Новикова</i>	246
ДЛИТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ — ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР ЗЕРНОСВЕКЛОВОЧНОГО СЕВООБОРОТА В ЦЧР <i>О. А. Минакова</i>	257

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА. <i>В. С. Михальцов</i>	266
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ СОСТАВОВ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ <i>С. Г. Муралев</i>	272
ВЛИЯНИЕ ДОЗ И СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО СВИНОГО НАВОЗА НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ <i>С. И. Новоселов, А. М. Комелин, Г. Е. Мерзлая</i>	280
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПОЧВА — РАСТЕНИЕ — КЛИМАТ <i>М. М. Овчаренко</i>	292
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ <i>В. В. Окорков, И. М. Шукин</i>	299
МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ИХ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ <i>Л. В. Осипова, И. А. Быковская</i>	315
ВНЕСЕНИЕ СУЛЬФАТА МАГНИЯ В ВИДЕ ЛИСТОВОЙ ПОДКОРМКИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОВСА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ <i>П. Ю. Панова</i>	319
ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И АЗОТОМ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ СТАВРОПОЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ <i>Е.В. Письменная, В.Н. Ситников</i>	328

ПАРАМЕТРЫ ПОСТУПЛЕНИЯ ¹³⁷ CS И ⁹⁰ SR В МНОГОЛЕТНИЕ БОБОВО-ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ НА ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ <i>А. Г. Подоляк, Т. Ф. Персикова</i>	341
ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ПИТАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ИНСЕКТИЦИДНОЙ ЗАЩИТЫ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ <i>А. С. Поликарпов</i>	354
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ В ПОСЕВАХ КОСТРЕЦА И ЛЮЦЕРНЫ <i>Л. Н. Прокина</i>	368
РОЛЬ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА В СОЗДАНИИ ЖУРНАЛА «УДОБРЕНИЕ И УРОЖАЙ» И ЕГО ПУБЛИКАЦИИ В НЕМ <i>И. С. Прохоров, И. И. Прохорова, Л. Н. Пирумова, М. В. Царева</i>	383
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ — ПУТЬ К ЭКОНОМИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ <i>В. А. Родионов</i>	402
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ <i>Н. И. Санжарова, О. А. Шубина</i>	413
ВЛИЯНИЕ АЗОТНО-КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КУКУРУЗЫ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ НА ЗАФОСФАЧЕННОЙ СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ <i>В. И. Титова</i>	420
ПОЧВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АГРАРНОМ КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ (НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ) <i>Н. М. Троц</i>	433

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА РАСТЕНИЯ СОИ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА <i>А. Г. Хина, А. С. Гордеев, Л. Р. Бикташева, Ю. А. Крутяков</i>	446
МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ПОВОЛЖЬЕ <i>М. М. Хисматуллин, Р. П. Ибатуллина</i>	463
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ ВИНОГРАДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АГРОХИМИКАТОВ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ <i>М. И. Чумак, О. Г. Белоус</i>	478
ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, ВОВЛЕЧЕННОГО В МНОГОЛЕТНЕЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ <i>А. Х. Шеуджен Л. М. Онищенко, В. К. Голубова</i>	487
ПРИМЕНЕНИЕ АГРОХИМИКАТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ ОЗИМОЙ РЖИ <i>А. С. Шкуркина, Д. В. Виноградов</i>	500

Научное издание

СБОРНИК

Составители:

О. В. Рухович, д.б.н.

М. В. Беличенко, к.б.н.

М. А. Петрова

О. И. Аристова

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции

**«АГРОХИМИЧЕСКАЯ НАУКА — ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
АГРОЭКОСИСТЕМ»**

Гарнитура Times New Roman

Подписано в печать 10.09.2025 г.

Формат 60*84/16. Бумага офсетная

Печать цифровая. Усл. печ. л. 32,5

Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

Почтовый адрес: 127434, Москва, ул. Прянишникова, 31 А

Тел. (499) 976–25–01. e-mail: pl@vniia-pr.ru; info@vniia-pr.ru