



Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта

**Материалы
Всероссийской научной конференции
(Москва, 12-13 сентября 2023 г.)**

**Москва
2023**



**Агрохимическая наука –
синтез академических знаний
и практического опыта**

**Материалы
Всероссийской научной конференции
(Москва, 12-13 сентября 2023 г.)**



**Москва
2023**

УДК 631.4+631.8(063)

ББК 40.4л0

Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта: материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 12-13 сентября 2023 г.), Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва: Постер-М, 2023 – 337 с.

Рецензент:

А.Х. Шеуджен – академик РАН, доктор биол. наук, профессор, зав. каф. агрохимии Кубанского ГАУ

Ответственный редактор:

Романенков В.А., профессор РАН, д.б.н.

Редакционная коллегия:

Егоров В.С., д.б.н.; Верховцева Н.В., д.б.н.; Морачевская Е.В., к.б.н.;

Арзамазова А.В., к.б.н.

Сборник докладов и статей участников конференции, посвященной 160-летию кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Представленные в сборнике направления исследований отражают развитие агрохимической науки как междисциплинарного направления, исследующего комплекс взаимосвязанных продукционных, почвенных, ландшафтных и экосистемных процессов.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для широкого круга научных работников: агрохимиков, агроэкологов, почвоведов, микробиологов, физиологов растений.

Ключевые слова: агрохимия, агроэкология, агроэкосистема, почвенное плодородие, мониторинг, почвенная микробиология, окружающая среда, устойчивое сельское хозяйство.

ISBN 978-5-6050619-9-1

Московский государственный университет, 2023



Юбилей кафедры агрохимии

Данное издание представляет собой материалы Всероссийской конференции «Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта», которая была посвящена 160-летию открытия первой кафедры агрохимии в Московском университете. Нельзя сказать, что ранее вопросам агрохимии не уделялось внимания в университете, но создание кафедры ознаменовало важный этап в развитии почвенно-агрохимических исследований в университете и свидетельствовало об осознании важности этой отрасли знания университетским руководством.

За прошедшие более чем полторы сотни лет значимость агрохимии только возросла. Мы не всегда отдаём себе отчёт, что современный рост населения и технический прогресс стали возможными только потому, что агрохимия позволила многократно увеличить урожайность сельскохозяйственных культур за счёт применения минеральных удобрений и средств защиты растений. Современные исследования в области минерального питания культурных растений позволяют удовлетворять постоянно растущие потребности в продовольствии. И не последнюю роль в подобных исследованиях играет кафедра агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ. Конференция «Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта», конечно, была организована не только для того, чтобы вспомнить долгую и славную историю кафедры. Прежде всего, она была посвящена обсуждению насущных вопросов современной агрохимии – науки, в которой тесно переплетены масштабные фундаментальные проблемы и актуальные практические задачи.

Надо сказать, что в настоящее время кафедра агрохимии и биохимии растений активно выходит на междисциплинарное сотрудничество. Помимо естественных контактов с кафедрой общего земледелия и агроэкологии, с которой совместно выполняются исследования по государственному заданию, агрохимики охотно работают и с другими кафедрами, особенно биологии почв и физики и мелиорации почв. Развивается взаимодействие и с другими факультетами, в том числе в рамках междисциплинарных научно-

образовательных школ МГУ. Ведутся совместные работы с географическим факультетом, научно-исследовательским вычислительным центром и даже с факультетом космических исследований. Конференция позволила сотрудникам кафедры, факультета поделиться результатами своих научных работ, а также заслушать доклады о новейших исследованиях за стенами Московского университета. Итоги конференции представлены в этом сборнике.

И.о. декана факультета почвоведения
МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.б.н., член-корр. РАН
Красильников П.В.





160 лет кафедре агрохимии в Московском университете

Сборник научных трудов Всероссийской конференции «Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта» посвящен знаменательной дате в истории университетской науки и образования – 160-летию открытия кафедры агрохимии в стенах Московского университета.

Кафедра была открыта по уставу Московского университета, принятому 18 июня 1863 г. как кафедра агрономической химии в составе физико-математического факультета. Открытие кафедры произошло спустя всего 25 лет с момента формирования агрохимии как науки, если вести отсчёт от периода публикации классических работ Ж.-Б. Буссенго и Ю.Либиха. Заведование кафедрой было предложено профессору Я.Н. Калиновскому, который до этого 10 лет заведовал кафедрой сельского хозяйства. К этому времени в Московском университете существовала значительная научная и педагогическая база в области сельскохозяйственных наук, а вопросы почвоведения и агрохимии обсуждались в трудах М.И. Афонина, А.А. Прокоповича-Антонского, М.Г. Павлова. Вместе с тем, как отмечал Г.В. Добровольский, «несмотря на то, что ещё в 1825 г. известный профессор Московского университета М.Г. Павлов уже опубликовал свой труд «Земледельческая химия», Д.И. Менделеев начал в 60-е гг. опыты применения удобрений, а профессор А.Н. Энгельгардт ещё в 60-е гг. готовил в Петербургском земледельческом институте свой труд «Химические основы земледелия», несмотря на эти замечательные труды, именно открытие в Московском университете кафедры агрохимии послужило подлинным началом систематического и поступательного развития в России агрохимической науки». В этом же выступлении Г.В. Добровольским было отмечено, что традиции университетских школ агрохимии и почвоведения, а также преемственность научных исследований, заложенная её основателями, позволили обеспечить их развитие, несмотря на многие трудности по реорганизации, встречавшиеся в жизни университета.

В.Г. Минеев, возглавлявший кафедру более 35 лет, отмечал, что «на протяжении всех лет истории агрохимии в Московском университете, была ли она представлена самостоятельной кафедрой или находилась в составе кафедры агрономии, всегда было повышенное внимание к агрохимическим исследованиям и к преподаванию агрохимии как естественнонаучной дисциплины».

Агрохимия рассматривалась как фундаментальная дисциплина, объединяющая академическую и университетскую науку. Д.Н. Прянишников, обосновывая необходимость восстановления кафедры в Московском университете в 1944 г., писал в докладной записке: «Студенты университета обладают основательной глубокой подготовкой и по общей химии, и по агрономической, вследствие чего они по окончании университета являлись незаменимыми агрохимиками-исследователями».

Сегодня кафедра агрохимии и биохимии растений определяет свою миссию как синтез академических знаний в стратегических областях почвоведения, микробиологии, биохимии растений, биогеохимии, экологии с одной стороны и практических ориентиров в земледелии с другой, определяющих возможности человеческого существования как сейчас, так и в будущем.

В последние 5 лет коллектив кафедры уделяет особое внимание совершенствованию учебного процесса. Основная задача педагогического коллектива кафедры – повышение качества преподавания по тематике управления параметрами плодородия почв агробиоценозов для устойчивого производства продукции и ведения сельского хозяйства, управления экосистемными услугами в агробиоценозах, рассмотрение экологических последствий применения удобрений и физиологически активных веществ.

Целью учебной работы является подготовка высококвалифицированных выпускников, востребованных в области почвенного плодородия, агротехнологического обеспечения в растениеводстве, экологии и охраны природы в академических учреждениях и вузах; в мониторинговых и экологических службах ведомств, муниципалитетов, государственных и коммерческих предприятий, в разработке и тестировании новых видов удобрений.

За 5 лет (2017 -2021 гг.) кафедра выпустила 33 бакалавра и 35 магистров. В настоящее время на кафедре обучаются 22 студента и 8 аспирантов.

За отчетный период сотрудниками кафедры были созданы и внедрены в учебный процесс новые курсы: «Введение в агроландшафтоведение», «Агрохимические основы рекультивации за-

грязненных и нарушенных земель», «Физиолого-биохимические основы питания и удобрения декоративных культур в оранжереях и зимних садах», «Агрохимия и биосфера», «Питание растений как стратегия управления современными агроэкосистемами», «Фитотестирование объектов окружающей среды и агроценозов», «Агрохимия лекарственных растений»), «Проблемы управления качеством растительной продукции», а также 7 курсов по программе межфакультетского образования. Создан курс «Рекультивация загрязненных территорий криолитозоны» для геологического факультета. Переработана и расширена программа обязательного курса «Агрохимия».

Кафедрой организована ежегодная учебно-производственная практика для студентов «Агрохимические исследования в агроландшафтах и городской среде».

В период с 2017 г по 2021 г. сотрудники кафедры выпустили 9 учебно-методических и учебных пособий, включая учебник «Агрохимия» (2017 г.) и «Практикум по агрохимии» (2021 г.). Сотрудники кафедры принимают участие в работе Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Для помощи выпускникам кафедры агрохимии и биохимии растений в трудоустройстве отлажены механизмы взаимодействия с работодателями. Организована работа по проведению производственной практики для студентов на базе предприятий и учреждений г. Москвы, Московской, Тульской, Воронежской областей, занимающихся агрохимическими исследованиями, производством минеральных удобрений, инженерными изысканиями, экологическим мониторингом, ландшафтным дизайном.

В 2018-21 гг. получено 4 свидетельства о регистрации баз данных учебных курсов, использующихся в преподавании «Научные принципы построения систем удобрения с основами экологической агрохимии», «История агрохимии и методологии агрохимических исследований», на основе фундаментального трёхтомного труда В.Г. Минеева “История и состояние агрохимии на рубеже XXI века”.

Текущая научная работа кафедры проводится по следующим основным направлениям:

- динамика биогенных микроэлементов и токсичных металлов в агроэкосистемах;
- биологически активные вещества в агроценозе;
- агрохимия и биологическая активность почв;

- агрохимия декоративных культур в городском ландшафте;
- агрохимия в рекультивации загрязненных и нарушенных земель.

Результаты исследований позволяют разрабатывать способы оптимизации плодородия почв, адаптированные к условиям агро-экосистем с техногенной нагрузкой и городским ландшафтам, на основе инновационного сочетания агроприемов, направленного на воспроизводство почвенного плодородия, реализацию потенциальной продуктивности однолетних и многолетних сельскохозяйственных культурных и декоративных растений.

За 2017-21 гг. сотрудниками кафедры подготовлен и осуществлён выпуск 20 номеров рецензируемого научного журнала «Проблемы агрохимии и экологии». Журнал входит в список ВАК, имея вторую категорию в системе Перечня рецензируемых научных изданий и в перечень журналов, в котором могут быть опубликованы научные результаты диссертаций, защищаемых по направлению биологические науки в МГУ.

Кафедрой подготовлены и проведены две Всероссийские научные конференции «Агрохимия в XXI веке» (2018) и «Проблемы агрохимии и экологии - от плодородия к качеству почвы» (2021), посвящённых академику РАН В.Г. Минееву. Традиционно юбилейные даты кафедры отмечала проведением всероссийских конференций, как было, например, в 2003 г., когда на конференции «Агрохимия в высших учебных заведениях России» обсуждались перспективы развития и интеграции агрохимической науки; в 2013 г., на конференции «Состояние и перспективы развития агрохимических исследований», посвящённой вопросам связи учёных факультета с академическими и отраслевыми институтами и обсуждавшей успехи университетской агрохимической науки.

Сегодня агрохимия является междисциплинарным направлением, исследующим комплекс взаимосвязанных продукционных, почвенных, ландшафтных и экосистемных процессов в системе «почва-технология-удобрение-средства защиты растений-погодные условия».

Преподавание агрохимии в высшей школе как фундаментальной дисциплины предполагает комплексные образовательные программы и технологии, формирующие выпускников, имеющих агрохимическую, биохимическую, экологическую подготовку с новыми профессиональными навыками. Они должны позволить использовать современные технологические достижения для грамотной интерпретации получаемой информации, точной настройки технологий и снижения сельскохозяйственных рисков.

Современные научные школы обеспечивают комплексную агрохимическую, биохимическую, экологическую оценку агрохимикатов, что является ключевым составляющим для повторного использования питательных веществ, которые в противном случае могут явиться источником загрязнения окружающей среды. Обсуждение опыта их работы для плодотворного обмена мнениями и творческого содружества агрохимиков, экологов и специалистов смежных специальностей – подход академика В.Г. Минеева, который кафедра продолжила, организовав сегодняшнюю конференцию.

Настоящий сборник публикует материалы пленарного заседания конференции, а также круглых столов молодых учёных, организованных в сотрудничестве с кафедрами физики и мелиорации почв и биологии почв.

*Заведующий кафедрой агрохимии и биохимии растений
факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор биол. наук, профессор РАН Романенков В.А.*





ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

1.1 ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АГРОХИМИЯ» В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

1.2 УПРАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫМ ПЛОДОРОДИЕМ КАК ЗАДАЧА РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



Преподавание агрохимии как междисциплинарной науки в Тимирязевской академии

Налиухин А.Н.

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва,
e-mail: naliuhin@rgau-msha.ru*

Формирование агрохимии как науки и учебной дисциплины происходило в недрах физиологии растений, химии почв, химии растений, сельскохозяйственного химического анализа и органической (биологической) химии. Академику Дмитрию Николаевичу Прянишникову удалось сформулировать основные положения и обосновать необходимость выделения агрохимии в самостоятельную науку.

Будучи заведующим кафедрой частного земледелия (растениеводства) Д.Н. Прянишников ввел самостоятельный курс «Учения об удобрении». Как пишет Дмитрий Николаевич «Прежде (с 1894 - 1928 гг.) кафедр агрономической химии в с.-х. школах не было, и развивать эту работу можно было под флагом какой-либо другой кафедры, в порядке личной инициативы; так и автору пришлось в течение 33 лет (1895-1928) культивировать агрохимию в качестве неуставной штатной и уставом школы придатка к кафедре частного земледелия». Собственно говоря, первым учреждением, где агрохимия была признана и представлена целым отделом была не с.-х. школа, а Научный институт по удобрениям (НИУ), созданный в 1919 году Высшим советом народного хозяйства. В с.-х. вузах же первая самостоятельная кафедра агрохимии была создана в Тимирязевской академии в 1928 году, и только с 1930 году начался систематический выпуск агрохимических кадров ввиду развертывавшейся химизации земледелия (Прянишников, 1940).

При преподавании агрохимии Д.Н. Прянишников подчеркивал важность прикосновения студентов к научной работе, причем не только тех, кто видел свое будущее в науке, но и для работы впоследствии в хозяйстве, земстве, журнальном деле и т.д., потому что «такая прикосновенность оставляет след на всю жизнь, приучая к более разносторонней оценке явлений, к самокритике, предостерегая от склонности к поспешным выводам, к слишком упрощенным решениям» (Прянишников, 1914).

Именно поэтому в те годы кафедры становится кузницей кадров не только для производства, но и научных учреждений страны. Усиление изучения вопросов минерального питания на кафедре значительно расширилось после того, как Д.Н. Прянишников в 1896 г. получил от К.А. Тимирязева вегетационный домик, который демонстрировался на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде. Это было уникальное по тем временам сооружение - обширный павильон из стекла и металла, с подвижными тележками на рельсах и вегетационными сосудами. Впоследствии вегетационный домик был перестроен и значительно расширен. Вегетационный домик послужил хорошей экспериментальной базой, где Д.Н. Прянишников развернул свои уникальные исследования по изучению вопросов азотного и фосфорного питания растений, а также действия минеральных удобрений на химический состав растений и свойства почвы. Совместно с сотрудниками и студентами Д.Н. Прянишникову удалось прояснить вопрос об эффективности фосфоритов на разных почвах.



Рис. 1. Академик Д.Н. Прянишников в вегетационном домике
с В.М. Ключковским и И.В. Гулякиным

Кафедра агрохимии одна из первых в Советском Союзе обратилась к использованию радиоактивных изотопов. В 1947 году по инициативе академика И.А. Курчатова при кафедре была создана первая биофизическая лаборатория, которую возглавил Всеволод Маврикиевич Ключковский. Использование радиоактивных (В.М. Ключковский) и

стабильных (П.М. Смирнов) изотопов позволило решить широкий спектр агрохимических вопросов в области питания растений и применения удобрений.

В 1952 г. за исследования процессов питания растений с помощью метода меченых атомов сотрудникам кафедры В.М. Клечковскому, А.Г. Шестакову, И.В. Гулякину и С.П. Целищеву была присуждена Государственная премия.



Рис. 2. Д. Н. Прянишников с сотрудниками кафедры агрохимии Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 1946 г. Первый ряд слева направо В. В. Вильямс, И. В. Гулякин, Б. А. Голубев, Д. Н. Прянишников, А. Г. Шестаков, З. В. Логвинова, И. И. Гунар (фото из музея кафедры агрономической, биологической химии и радиологии)

В 1960-1970-е годы кафедра стала центром проводимых в СССР исследований состава аминокислот и белков в сельскохозяйственных растениях (Б.П. Плешков, Н.Н. Новиков, Н.Б. Бекмухамедова, В.Ф. Волобуева, А.Ф. Слипчик). За короткий период на кафедре прошли стажировку и получили консультации по методическим и теоретическим вопросам исследований аминокислот и белков научные работники из различных учреждений Советского Союза.

В период наращивания темпов химизации страны (1980-е годы) сотрудники кафедры А.В. Петербургский, И.И. Гулякин, В.Б. Багаев, И.П. Дерюгин, В.А. Демин, Ю.П. Жуков, Ю.К. Чуприков и другие проводили исследования по разработке научно-обоснованных систем применения удобрений и решению вопросов комплексной химизации земледелия в хозяйствах Нечерноземья.

В 1977-2001 гг. под руководством академика ВАСХНИЛ Б.А. Ягодина широко проводились исследования по изучению влияния микроудобрений на урожай и качество зерновых, бобовых и овощных культур. Агрохимическая опытная станция имени Д.Н. Прянишникова в 1980 г. была реорганизована в две лаборатории - лабораторию агрохимии и лабораторию микроэлементов, сотрудники которой (И.В. Верниченко, В.В. Говорина, С.П. Торшин, В.П. Старовойтова, В.Н. Маркелова, С.Б. Виноградова, И.Г. Захарова, И.Л. Забродина, С.М. Саблина, М.В. Вильямс, В.В. Яцко, И.П. Малахова и другие) в своих многочисленных работах уделяли большое внимание изучению действия кобальта, лития, молибдена, селена, марганца, цинка, меди, бора, хрома, никеля и их сочетания на урожай и качество различных сельскохозяйственных культур. Были начаты работы по изучению содержания тяжелых металлов в растениях и почве (Торшин, 2015).

В 2002 году за разработку сбалансированных по элементам питания кормов группе учёных страны, в том числе академику Б.А. Ягодину была присуждена Государственная премия.

В 2010 году в связи с присоединением кафедры радиологии была переименована в кафедру агрономической, биологической химии и радиологии.

Заведующими кафедрой агрохимии в разные годы были:

С 1928-1948 гг. – академик Дмитрий Николаевич Прянишников (1865-1948)

с 1948 по 1956 гг. – профессор Александр Григорьевич Шестаков (1899-1959), лауреат Сталинской премии (1952г.)

с 1956 по 1972 гг. – академик ВАСХНИЛ Всеволод Маврикиевич Клечковский (1900-1972)

с 1972 по 1977 гг. – профессор Пётр Михайлович Смирнов (1922–1985)

с 1977 по 2001 гг. – академик РАСХН Борис Алексеевич Ягодин (1930–2002)

с 2001 по 2010 гг. – профессор Виктор Васильевич Кидин

с 2010 по 2021 гг. – профессор Сергей Порфирьевич Торшин.

С 2022 г. по настоящее время руководит кафедрой доктор сельскохозяйственных наук профессор Алексей Николаевич Налиухин.

Среди первых учебных пособий по агрохимии следует указать классический труд Д.Н. Прянишникова «Учение об удобрении» (5 изданий с 1900-1922 гг.), который в 1934 г. трансформирован в учебник «Агрохимия». За изданный в 1940 г. монографический учебник «Агрохимия» академику Д.Н. Прянишникову в 1941 г. была присуждена Государственная премия первой степени.

Учебник «Агрономическая химия», написанный коллективом преподавателей кафедры под редакцией проф. А.Г. Шестакова (1954 г.);

Учебник «Агрохимия», написанный профессорами и преподавателями кафедры под редакцией акад. В.М. Ключковского и проф. А.В. Петербургского (1964 г. и 1967 г.).

Учебник «Агрохимия» под редакцией проф. П.М. Смирнова и проф. А.В. Петербургского (1975 г., третье издание) удостоен премии имени Д.Н. Прянишникова за 1976 г. и награжден Почетным дипломом ВДНХ; четвертое (1989 г.) и пятое издания (2002 г.) учебника «Агрохимия» вышли под редакцией академика РАСХН Б.А. Ягодина;

Учебник «Агрохимия» (2015, 2022 гг.) – проф. В.В. Кидин и проф. С.П. Торшин.

«Практикум по агрохимии» (А.В. Петербургский, 1947–1968 гг., 6 изданий); «Практикум по агрохимии» — под редакцией Б.А. Ягодина (1989 г.); «Практикум по агрохимии» — под редакцией проф. В.В. Кидина (2012).

По специальным разделам агрохимии изданы учебные пособия «Система применения удобрений» - И.В. Гулякин (1976 г.); «Методика агрохимических исследований» - Ф.А. Юдин (1971 г.); учебник «Агрономическая химия» для экономических факультетов с.-х. вузов - П.М. Смирнов, Э.А. Муравин (1971, 1975 и 1986 гг.); учебное пособие «Питание и удобрение овощных и плодовых культур» - И.П. Дерюгин, А.Н. Кулюкин (1998 г.); «Удобрение в интенсивных технологиях возделывания с.-х. культур» - под редакцией И.П. Дерюгина (1991 г.); пособие «Калий и калийные удобрения» — В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2000 г.).

Учебник «Биохимия сельскохозяйственных растений», написанный профессором Борисом Павловичем Плешковым в 1964 году в дальнейшем переиздавался в 1968, 1975, 1980, 1987 гг. (5 изданий).

Учебник «Сельскохозяйственная радиология» (А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин) - Лауреаты Премии Правительства Российской Федерации в области образования (2012 г.)

Учебник «Биогеохимия радионуклидов» (С.П. Торшин, Г.А. Смолина) - лауреат IV Международного конкурса научных работ в области радиоэкологии имени В.М. Ключковского (2017 г.)

«Практикум по сельскохозяйственной радиологии» (С.П. Торшин, Г.А. Смолина, А.С. Пельтцер) удостоен диплома I степени IX Всероссийского конкурса «Аграрная учебная книга» (2020 г.) и стал лауреатом VI Международного конкурса научных работ в области радиоэкологии имени В.М. Ключковского (2021 г.).

На сегодняшний день кафедра агрономической, биологической химии и радиологии является базовой по агрохимическому образованию в сельскохозяйственных вузах страны. На кафедре уделяется большое внимание взаимодействию с компаниями-производителями минеральных удобрений: «ФосАгро», «Уралкалий», «Еврохим», «Буйский химический завод». Исследования сотрудников кафедры дополнились вопросами снижения эмиссионных потерь двуокиси углерода и закиси азота из минеральных удобрений и почвы; создание удобрений с покрытиями для пролонгированного высвобождения питательных веществ; изучению фракционного состава белков и активности ферментных систем под действием удобрений при различных стрессовых условиях.

Литература

1. Прянишников Д.Н. Несколько слов о современном положении высшей агрономической школы (1914) // Собрание статей и научных работ. Т. 1. М.: Работник просвещения, 1927. С. 113.
2. Прянишников Д.Н. Агрохимия. Издание третье. М.: Сельхозгиз, 1940. 644 с.
3. Торшин С.П. Исследуя – учим (к 150-летию со дня рождения основоположника Российской агрохимической науки академика Д.Н. Прянишникова) // Агрохимия. 2015. № 6. С. 3-10.

Экологическая агрохимия – новое приоритетное направление научных исследований

Романенков В.А., Егоров В.С.

*МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения,
кафедра агрохимии и биохимии растений, Москва,
e-mail: romanenkov@soil.msu.ru*

Количественная оценка состояния почвенного плодородия, получившая значительное развитие в XX веке, в настоящее время дополнилась многомерной оценкой качества почвы, охватывающей широкий спектр функций и почвенно-экосистемных услуг, влияющих на различные цели устойчивого развития. В этом подходе нашло отражение, с одной стороны, изменение акцентов от рассмотрения агроценоза, используемого в интенсивном земледелии в основном как источника производства продовольствия, топлива и волокон (производственная услуга), к представлению о многофункциональной агроэкосистеме, в которой равное внимание уделено другим, прежде всего, регуляторным и базовым услугам, среди которых основные, напрямую связанные с сельскохозяйственной деятельностью – круговорот элементов питания, предотвращение загрязнения окружающей среды токсичными веществами, управление циклом углерода и поддержание среды обитания живых организмов (Функции почв, 2015). Поддержание функционирования подобной агроэкосистемы оказывается во многом более сложной задачей, чем воспроизводство услуг в естественных биоценозах, поскольку в последних производственные услуги играют подчинённую роль. С другой стороны, подобный подход позволяет связать локальный масштаб исследования, рассматриваемого поле, производственный участок либо экспериментальную делянку с региональными, национальными, либо глобальными задачами и вызовами (рис. 1).

Рассмотрение проблем агрохимии с биосферных позиций, в соответствии с социальными, экономическими условиями и экологической ситуацией, возникшее в 70-80 х гг. XX в., по времени совпадает с формированием концепции устойчивого сельскохозяйственного производства – увеличения производства продуктов питания экономически целесообразным способом при сохранении экологической сбалансированности продовольственных систем (4R стратегия..., 2017).



Рисунок 1. Взаимосвязь концепций почвенного плодородия с пятью почвенными функциями, определяющими почвенно-экосистемные услуги при различных масштабах рассмотрения (По Lehmann et al., 2020, с изменениями).

Оценка последствий применения агрохимических средств на окружающую среду при рассмотрении традиционных взаимосвязей в системе почва - удобрение - растение получила развитие в публикациях 1984 г. «Агрохимия и биосфера» В.Г. Минеева и “Экологические проблемы применения минеральных удобрений” В.Н. Кудеярова с соавторами, в которых рассматривались новые биологические и экологические задачи агрохимии, сформировавшиеся впоследствии в направления исследований «экологическая агрохимия» и «агро-геохимия».

Анализируя основные черты экологической агрохимии, В.Н. Кудеяров и В.М. Семёнов (2014) выделяют такие задачи, как поддержание почвенного плодородия путём комплексного использования агрохимических средств, получение безопасной растительной продукции, сохранение биоразнообразия и экологических функций сопредельных сред, обеспечение сбалансированного круговорота питательных элементов и устойчивости продукционного процесса к внешним факторам окружающей среды. Каждая из описанных задач может быть конкретизирована. Например, для последней из них предполагается обеспечение условий роста и развития растений не только при неблагоприятных погодных условиях или при наличии опасных погодных явлений, но и возможность возделывания растений в условиях техногенного загрязнения почв такими поллютантами, как тяжелые металлы, радионуклиды, органические загрязнители, продукты трансформации химических средств защиты, а также при специфическом комплексном загрязнении, например, в условиях городской среды. Экологическая агрохимия, таким образом, базируется

на изучении трансформационных эффектов взаимодействия как существующих в природе, так и искусственно синтезированных веществ с абиотическими и биотическими компонентами агробио-геоценоза и выявлении ландшафтных и экологических закономерностей протекания таких процессов.

По нашему мнению, в формировании экологической агрохимии как нового приоритетного направления в науке можно выделить несколько периодов (рис. 2). 1977 г. – начало создания и развития данного направления под руководством академика РАН В.Г. Минеева. В 1977 - 2000 гг. им были обобщены материалы по влиянию применения удобрений на окружающую среду. В результате была опубликована серия монографий по проблемам экологии в области агрохимии «Почва, климат, удобрение и урожай» (1977), «Агрохимия и биосфера» (1984), «Экологические проблемы агрохимии» (1988), «Химизация земледелия и природная среда» (1990), «Агрохимия, биология и экология почвы» (1990).



Рисунок 2. Этапы исследования экологических функций агрохимии на кафедре агрохимии и биохимии растений

В 1997 г. сформулированы 10 экологических функций агрохимии, объединяющих важнейшие экосистемные услуги почвы, связанные с сельскохозяйственной деятельностью, а также концепции плодородия, качества и здоровья почвы.

Период 2000 - 2016 гг. можно охарактеризовать как обоснование экологического и биосферного направления в современной агрохимии. За это время опубликованы монографии «Агрохимия и экологические

функции калия» (2000), «Экологические функции агрохимических средств в агробиоэкосистемах» (2003), «Тяжелые металлы в агроэкосистеме» (2015).

В 2016 - 2023 гг. развиваются новые направления исследований кафедры в области экологической агрохимии: управление экосистемными услугами в агробиоценозах, экологические последствия применения удобрений и физиологически активных веществ; сравнительная эффективность инновационных агрохимических средств и препаратов на основе комплексной агрохимической, биохимической, экологической оценки; обеспечение экологической безопасности окружающей среды.

В последний период были разработаны новые учебные программы – введение в курс «Агрохимии» тематик по экологической оценке агрохимических средств, путям возможного загрязнения окружающей среды удобрениями, экологическим функциям агрохимии, спецкурсы «Агрохимия и биосфера», «Экологические проблемы и функции агрохимии», «Питание растений как стратегия управления агроэкосистемами», «Геохимия агроландшафтов», «Устойчивое сельское хозяйство», «Продовольственная безопасность и качество продукции».

При реализации данных подходов решаются задачи по разработке теоретических основ создания высокопродуктивных и устойчивых агроландшафтов путем комплексного использования агрохимических средств. Исследуются механизмы поддержания здоровья и качества почвы и агроценозов агрохимическими средствами и приемами. Основой является оптимизация питания и наиболее эффективного использования элементов растениями как решение задачи улучшения качества продукции и повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды путем формирования физиологических барьеров на пути поступления загрязняющих веществ в растения и продукцию растениеводства, а также оптимизации биологического круговорота биогенных элементов в агроэкосистеме за счёт регулирования трансформационных процессов. Описанные выше направления исследований сформулированы в 2000 г. В.Г. Минеевым в статье «Экологические функции агрохимии». Они вполне коррелируются с сегодняшней парадигмой оптимизации использования питательных веществ, сформулированной в 2022 г. (Dobermann et al., 2022).

Преобразование циклов питательных элементов и агротехнологий их использования в ближайшие 10-20 лет будет основано не столько на экономически выгодном, сколько на экологически приемлемом оптимуме питания растений. Новый подход к ис-

пользованию питательных веществ должен стать составляющим низкоуглеродных выбросов, экологически безопасной замкнутой продовольственной системы, поддерживающей растущее население мира. Примером может служить сравнение современной и новой экосистемной модели управления питательными элементами в агроэкосистеме (табл. 1).

1. Концептуальная схема управления питательными элементами в экологической агрохимии (no Drinkwater, Snapp , 2007, с изменениями).

Современная модель	Экосистемная модель
Источник питательных элементов	
Преимущественно растворимые минеральные удобрения Оптимальная система внесения Почвенная диагностика для оценки доступности Р и минерального N для коррекции доз	Использование различных источников питательных элементов Поддержание пулов, доступных растениям и микроорганизмам с длительным периодом существования Обмен С, N, Р между продуцентами и деструкторами
Использование почвенных пулов	
Минеральный N, доступный Р	Все пулы N и Р, органические и минеральные
Биологические процессы с участием растений	
Максимизация потребления питательных элементов растениями Устранение всех лимитирующих рост факторов	Максимизация фиксации С и азотфиксации, ассимиляции Р во времени и пространстве путем диверсификации севооборота
Микробиологическая и абиотическая трансформация	
Химический контроль ингибирования денитрификации и нитрификации Увеличение размеров гранул удобрений Оптимизация рН для снижения фиксации Р	Снижение размера минеральных пулов питательных элементов Активизация гумификации и потребления элементов микроорганизмами Активизация микробиологических трансформаций с участием растений для увеличения доступности элементов

В современных агротехнологиях основное внимание уделяется оптимизации систем удобрения комплексом приёмов, включая использование почвенной диагностики для оценки доступности фосфора и минерального азота, растительной диагностики с целью коррекции доз, в том числе при дробном внесении, с устранением лимитирования роста растений при недостатке данных элементов. Инновационные изменения в формах удобрений, например, наличие в них веществ ингибирующих биологические процессы денитрификации и нитрификации, применение удобрений пролонгированного действия, регулирование размеров гранул и другие технологические изменения помогают в решении данной задачи. При оптимизации систем

удобрения всё чаще используется искусственный интеллект, задачей которого является обеспечение роста продуктивности, повышение окупаемости и эффективности использования питательных веществ.

В отличие от данных подходов, экосистемная модель управления питательными элементами делает основной акцент на снижение размера их минеральных пулов, при активизации трансформационных процессов, увеличивающих доступность. В этом случае наиболее важным является обеспечение синхронизации между пулами доступного Р и минерального N с потребностями растений в разные фазы развития. Поскольку интенсивность трансформационных процессов во многом будет определяться гармонизацией циклов углерода, азота и фосфора, важными становятся условия обеспечения максимизации фиксации С и азотфиксации, ассимиляции Р во времени и пространстве за счёт биологических процессов, при учёте размеров и состава органических пулов данных элементов. Подобный подход позволит снизить непродуктивные потери питательных элементов в окружающую среду, поддерживать качество и здоровье почвы, управлять запасами почвенного углерода, снизить выбросы парниковых газов, загрязнение питательными веществами окружающей среды и уменьшение биоразнообразия. В экосистемной модели возрастает вклад элементов питания, получаемых при утилизации и переработке отходов, включая побочную растительную продукцию.

Таким образом, задачей экологического подхода является не только оптимизация применения удобрений, обеспечивающих растения элементами питания, но и управление потоками веществ в агроценозе, что связывает проблематику экологической агрохимии с агро-биогеохимией. В этой связи возрастает ценность постановки и проведения полевых исследований, ориентированных на решение агроэкологических вопросов, поскольку их результаты имеют прямой практический выход для оптимизации потоков питательных элементов в системе почва-удобрение-растение-атмосфера и служат конкретной отправной точкой для внедрения экологических принципов на уровне поля или производственного участка в зависимости от уровня урожайности, потока питательных элементов и доступных агротехнологических приёмов.

Литература

1. 4R стратегия. Практическое руководство по применению удобрений и оптимизации питания растений. Международный институт питания растений, 2017.

2. Кудеяров В.Н., Башкин В.Н., Кудеярова А.Ю. Бочкарев Д.Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений. М.: Наука, 1984. 214 с.
3. Кудеяров В.Н., Семёнов В.М. Проблемы агрохимии и современное состояние химизации сельскохозяйственного производства в Российской Федерации // Агрохимия. 2014. № 10. С. 3-17.
4. Минеев В. Г. Агрохимия и биосфера. Москва : Колос, 1984. 245 с.
5. Минеев В.Г. Экологические функции агрохимии в современном земледелии // Агрохимия. 2000. № 5. С. 5-13.
6. Функции почв. ФАО, 2015. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/4c2bcc80-84d9-45ea-b19e-042a8a5f0f3b>
7. Lehmann, J., Bossio, D.A., Kögel-Knabner, I. et al. The concept and future prospects of soil health. *Nature Rev. Earth Environ.* 2020. Vol. 1. P.544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
8. Dobermann, A., Bruulsema, T., Cakmak, I. et al. Responsible plant nutrition: A new paradigm to support food system transformation. 2022. *Global food security.* 33,100636. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100636>.

Роль агрохимии в образовательном процессе и проведении научных исследований в Ставропольском государственном аграрном университете

**Ситников В.Н., Есаулко А.Н., Голосной Е.В.,
Ожередова А.Ю., Котова А.Ю.**

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный
университет», e-mail: aesaulko@yandex.ru*

Аннотация. *В статье представлены этапы становления
и развития кафедры агрохимии и физиологии растений
Ставропольского ГАУ за период 1953-2023 гг., место и значение
агрохимии в образовательном процессе университета и основные
направления проведения прикладных исследований сотрудниками
кафедры.*

Ключевые слова: *история кафедры агрохимии, научные
направления, стационар, ученые СтГАУ.*

Ставропольский государственный аграрный университет – лидер рейтинга аграрных вузов страны на протяжении 20 лет, ведет образовательную деятельность по 9 укрупненным группам образовательных направлений, в состав входят три института, 6 факультетов, 400 человек НПП, более 8000 студентов, 105 образовательных программ.

Кафедра агрономической химии СтГАУ была создана в 1953 году. Период от образования и до сегодняшнего дня, можно разбить на четыре этапа: становление (1953-1975 гг.), развитие (1976-1991 гг.), стагнация (1992-2003 гг.) и преобразование (2004г. - по настоящее время).

Основателем и первым заведующим кафедрой был профессор Георгий Иванович Челядинов. В последующем кафедрой руководили кандидаты с.-х. наук доценты И.А. Калязин и А.П. Чернов. В это период сотрудники кафедры в краткосрочных опытах изучали влияние минеральных и органических удобрений на содержание и формы макроэлементов в почвах, повышение эффективности применения минеральных удобрений в системе удобрения ведущих с.-х. культур, выращиваемых в различных почвенно-климатических зонах края.

Именно с приходом в 1975 году на должность заведующего кафедрой агрохимии профессора Валентина Васильевича Агеева, связан новый этап развития кафедры.

Кафедра стала уделять больше внимания производственным вопросам и хозяйственной тематике. Для изучения фундаментальных проблем агрохимии на опытной станции университета в 1976 году профессором В.В. Агеевым был создан многофакторный стационар – «Теоретические и технологические потоки биогеохимических веществ в агроландшафтах».

На опытной станции и в университете были созданы современные на тот период агрохимические лаборатории, отвечающие всем стандартам. В этот период резко увеличилась публикационная активность кафедры, были изданы монографии, рекомендации и учебные пособия.

Период с 1992 по 2003 гг. был сложным этапом в развитии кафедры. Экономический кризис в стране негативно отразился и на образовательной сфере. Однако даже в это непростое время кафедра смогла сохранить свой состав, многолетний стационарный опыт, изучая на нем последствие систем удобрения.

Академик РАН В.Г. Минеев оказал определяющее влияние на развитие агрохимических исследований и преобразовании кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ. Василий Григорьевич Минеев обратил пристальное внимание на научные разработки в области агрохимии сотрудников Ставропольского аграрного университета в 2004 г. на Всероссийском семинаре в Донском аграрном университете. В 2006 году он посетил наш университет.

Василий Григорьевич выделил приоритетные задачи развития кафедры агрохимии, среди которых особо отмечал:

- усиление подготовки кадров в области агрохимии (до 2005 г. на кафедре не было ни одного сотрудника, защитившего диссертации по специальности агрохимия) и открытие научной специальности 06.01.04 – агрохимия в диссертационном совете;

- модернизацию лаборатории агрохимического анализа; внедрение научных разработок в производство; адаптация способов внесения удобрений к новым технологиям возделывания с.-х. культур, в т.ч. на орошении и в защищенном грунте; совершенствование методической работы в области длительных агрохимических исследований.

Все эти задачи были успешно выполнены в последующем.

В.Г. Минеев инициировал в 2006 году проведение Всероссийского методического совещания ученых-агрохимиков на базе университета при поддержке Российской академии сельскохозяйственных наук,

ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, ГЦАС «Ставропольский». Проблемы, обсуждавшиеся на совещании с участием академиков РАН Минеева В.Г., Сычева В.Г., Шеуджена А.Х., Пенчукова В.М., Петровой Л.Н. имели важное значение как для Ставропольского края и Северного Кавказа, так и для России в целом. Ставропольский государственный аграрный университет был избран координатором агрохимических исследований в Северо-Кавказском регионе.

Поиск новых научных решений, подбор кадров осуществлялся при активном участии и поддержке ректора университета, что привело к созданию инновационной материально-технической базы кафедры и лаборатории. В 2009 году кафедра была переименована в кафедру «агрохимии и физиологии растений», что позволило проводить более эффективно комплексные многофакторные исследования.

С 2014 года кафедру агрохимии и физиологии растений возглавляет Голосной Е.В., кандидат с.-х. наук, доцент, защитивший кандидатскую диссертацию на кафедре агрохимии, тем самым сохранив традиции и преемственность в рамках научной школы.

В настоящее время на кафедре работают 17 человек: в т.ч. ректор университета, 4 доктора наук, 10 доцентов, старший преподаватель, ассистент и 14 аспирантов. Удельный вес сотрудников с научными званиями и степенями составляет 94%. 11 Сотрудников кафедры за 15 лет защитили докторские или кандидатские диссертации по научной специальности «агрохимия».

Сотрудники кафедры агрохимии и физиологии СтГАУ осуществляют учебный процесс на трех факультетах, семи направлениях бакалавриата и 10 программах магистратуры по 37 дисциплинам.

Среди которых «Агрономическая химия», «Экологическая агрохимия», «Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия», «Основы агрохимии и почвоведения». Несмотря на то, что университет не осуществляет набор на направление бакалавриата агрохимия и агропочвоведение в 2016 г. осуществлен первый набор в магистратуру на программу: «Агрохимические основы управления питанием растений и плодородием почвы», а в 2023 г. – на программу магистратуры «Интегрированная защита и система питания овощных культур в защищенном грунте».

В рамках приоритетного национального проекта «Образование» в 2007 году на базе кафедры модернизирована лаборатория агрохимического анализа. Оснащена современным оборудованием, что значительно расширяет возможности в области агрохимических исследований и имеет международную аккредитацию в системе таможенного союза. Используется в учебном процессе, при

выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ. За период существования лаборатории сотрудниками кафедры привлечено средств на сумму более 90 млн. руб.

Для проведения почвенной и растительной диагностики, создания электронных карт при составлении картограмм в системе точного земледелия на кафедре имеется два пробоотборника на базе автомобиля и квадроцикла и полевая мобильная лаборатория.

Длительные полевые опыты составляют базовый блок всей системы экспериментов в аграрной науке. Достоянием Российской аграрной науки является стационар кафедр агрохимии и физиологии растений и общего, и мелиоративного земледелия - «Теоретические и технологические потоки биогеохимических веществ в агроландшафтах».

На протяжении 45 лет оптимизация систем удобрений в севообороте изучалась на фоне способов основной обработки почвы. Стационар пережил четыре модификации и актуализации, были и сложные времена, но он сохранён и продолжает функционировать. Уже при закладке стационар отличался от своих зарубежных и отечественных предшественников полифакторной схемой, т.е. одновременно началось изучение систем удобрений, монокультур, 8-польного севооборота, развёрнутого в пространстве и во времени, способов основной обработки почвы. Опыт отличает динамизм агротехники, которая регулярно совершенствуется. Предложения академика РАН Минеева В.Г. по оптимизации применения систем удобрения в севооборотах нашли свое отражение в многолетнем стационарном опыте кафедры агрохимии. Получаемые результаты данного опыта имеют фундаментальное значение для всей агрохимической науки и получение практического опыта в понимании теории питания растений.

На основе проведенных исследований, результаты которых отражены в 10 докторских и 34 кандидатских диссертациях, установлены:

- закономерности изменения агрохимических показателей чернозема в зависимости от временного фактора, совершенствования систем удобрений и физических приемов изменения плодородия почвы;
- оптимизация систем удобрений осуществлена посредством применения расчетных методов определения норм удобрений под программируемую продуктивность севооборота, распределения туков по способам удобрения и биологизации систем удобрений;

- изучаемые системы удобрения придают севообороту устойчивую продуктивность, сохраняют и повышают плодородие почвы, определяют возрастающий тренд продуктивности.

Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений в зависимости от систем удобрений в посевах озимой пшеницы увеличилось в 2-3 раза достигнув 10-13,2 кг зерна.

Хотелось бы отметить, что стационар стал местом совместной научной, образовательной и просветительской деятельности сотрудников Ставропольского, Кубанского (академик РАН Шеуджен А.Х.), Московского государственного университета (академик РАН Минеев В.Г. и в последнее время профессор РАН Романенков В.А.) ВНИИ агрохимии (академики РАН Завалин А.А. и Сычев В.Г.) и других.

Наш университет является победителем программы университет 20-30, сотрудники кафедры участвуют в подпроекте «Биологизация сельского хозяйства на основе инноваций (агробиотехнологии, цифровизация, селекция и семеноводство) и проводят исследования по направлению «Программирование продуктивности с.-х. культур и показателей почвенного плодородия на основе оптимизации питания, мониторинговых наблюдений и цифровых инструментов».

В рамках реализации проекта: Произведена модернизация приборной базы лаборатории агрохимического анализа на сумму 15 млн. руб.; Лабораториями агрохимии и почвоведения за 2021-2022 гг. реализованы научно-исследовательские проекты на площади 443 тыс. га, за счет чего привлечено 12,7 млн. руб.;

По инициативе руководства, в нашем университете в декабре этого начнет работу научно-производственный центр агробиотехнологий. В состав центра войдут восемь лабораторий: агрохимического анализа, почвенной микробиологии, лаборатории качества семян и анализа биометрических показателей, лаборатория органического земледелия, лаборатория фитосанитарного мониторинга и диагностики, контрольно-токсикологическая лаборатория, лаборатория оценки качества продукции, лаборатория микротомографии и гиперспектрального анализа с.-х. культур.

Цель научно-производственного центра агробиотехнологий - расширение спектра услуг, оказываемых аккредитованными лабораториями предприятиям агропромышленного комплекса. На основе комплексного анализа почвы и растительных образцов сотрудники центра будут выдавать рекомендации по принципу «единого окна», что позволит сельхоз товаропроизводителям проводить корректирующие мероприятия в сжатые сроки.

В рамках организации научной деятельности центра агро-биотехнологий совместно с учеными кафедры агрохимии и биохимии растений МГУ имени М.В. Ломоносова проводятся исследования на тему «Оценка и моделирование динамики запасов углерода почвы в зависимости от биологизации системы удобрения севооборота в стационарном полевом опыте Ставропольского ГАУ».

На всех этапах исследований многолетний опыт сопровождался большим количеством краткосрочных экспериментов по актуальным направлениям: изучение новых видов и форм удобрений, применение удобрений в технологии no-till, дистанционное зондирование, мониторинг состояния и корректировка питания посевов, системы удобрения в условиях интенсивных технологий полива, прогнозирование урожайности с.-х. культур по агрохимическим показателям, применение удобрений в системе точного земледелия.

Ученые-агрохимики нашего университета на протяжении 15 лет успешно сотрудничают с компаниями ЕвроХим, ФОСАГРО, Уралхим, Щелково Агрохим и Лермонтовский ГМЗ. В различных почвенно-климатических зонах нами были изучены способы внесения новых и традиционных форм минеральных удобрений через постановку демонстрационных опытов, научных экспериментов в производственных условиях на базе основных потребителей данной продукции.

В последние годы трендом ресурсосбережения стала технология no-till, площадь возделываемых культур по которой только в нашем регионе увеличилась в 5 раз, достигнув 250 тыс. га. Переход на данную технологию позволил прекратить деградацию и сохранить плодородие почвы, сэкономить материальные и трудовые ресурсы, повысить рентабельность производства.

Проведенными нами на протяжении 8 лет исследованиями установлена резкая дифференциация почвенного плодородия между слоями почвы 0 - 10 и 10 - 20 см на фоне нулевой технологии по сравнению с традиционной. Для достижения продуктивности, соответствующей почвенно-климатическим условиям зоны, нами определены формы, виды и дозы внесения минеральных удобрений, которые при технологии no-till оказались выше на 20 - 25%.

Сегодня нами совместно с сотрудниками ВНИИ агрохимии, космических исследований, агрофизического института проводятся ряд опытов по разработке агротехнических приёмов применения удобрений, пестицидов в системе инновационных технологий точного земледелия.

На основе наших опытов установлены следующие агрохимические параметры для эффективного применения технологии точного земледелия – это внесение на 1 га посевной площади минеральных удобрений не менее 200 кг д.в., вариабельность почвенного плодородия более 25%.

С Институтом космических исследований, мы проводим мониторинг состояния посевов озимых культур через изменения индекса NDVI, что позволяет в режиме реального времени применять корректирующие мероприятия для дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений.

Оказание научных, образовательных и консультационных услуг стало возможным благодаря созданной нами в 2007 году в университете инновационной лаборатории «Агрохимического анализа», имеющую международную аккредитацию в системе таможенного союза и широкий перечень оказываемых услуг. На основании авторских методик по расчету норм удобрений для всех способов внесения мы ежегодно проводим почвенную и растительную диагностику на площади более 120 тыс. га, что позволило увеличить продуктивность 1 га пашни на 15 - 20%, стабилизировать агрохимические показатели почвы, и привлечь за 12 лет 99 млн. рублей.

Сотрудниками кафедры за последние 15 лет опубликовано 5 учебников, 26 монографий, 63 учебно-методических пособия, более 100 статей в изданиях ВАК, 31 публикация в международных базах Scopus и Web of Science. Получено 22 патента и 41 свидетельство.

Литература

1. Вклад многолетнего стационара «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафте» в фундаментальные и прикладные разработки агрохимии (длит. опыт Геосети РАН) / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, В.Г. Сычев [и др.] // Агрохимич. вестник. – 2018. – № 4. – С. 14-20.
2. Есаулко, А.Н. Вклад ученых кафедры агрохимии в развитие научных исследований на Северном Кавказе / А.Н. Есаулко // Агрохимический вестник. – 2005. – № 4. – С. 3 - 4.
3. Есаулко А.Н. К истории развития кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского государственного аграрного университета в связи с научными идеями академика В.Г. Минеева / А.Н. Есаулко, Е.В. Голосной, В.В. Агеев [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии – от плодородия к

качеству почвы : Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося деятеля науки, классика отечественной школы агрохимии, академика РАН В.Г. Минеева, Москва, 07-08 сентября 2021 года / Под редакцией В.А. Романенкова. – Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. – С. 11-15.

4. Кафедре агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ - 65 лет / В.И. Трухачев, В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах: Сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ, Ставрополь, 04-05 октября 2018 года. – Ставрополь: ООО «СЕКВОЙЯ», 2018. – С. 5-8.

5. Минеев В.Г. История агрохимии и методологии агрохимических исследований: уч. пособие ... /В.Г. Минеев, Л.А. Лебедева. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 2003, 328 с.

6. Роль стационара СтГАУ в решении агрохимических проблем в географической сети длительных опытов с удобрениями / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина [и др.] // Инновации аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения, Ставрополь, 26-29 марта 2008 года. – Ставрополь: Издательство «АГРУС», 2008. – С. 22-25.

7. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Ч. 5 Прикладная агрохимия: учеб. пособие / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2017 – 860 с.

Использование результатов агрохимического мониторинга почв в учебных дисциплинах и экологической экспертизе

Титова В.И.

Нижегородский государственный агротехнологический университет, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97, НГАТУ

Аннотация. Приведен обзор дисциплин учебного плана бакалавриата по направлению «Агрохимия и агропочвоведение», где дается информация о процедуре и результатах агрохимического и эколого-токсикологического обследования почв, а также о направлениях использования данных мониторинга в отрасли растениеводства АПК РФ и работе эксперта-эколога при оценке антропогенного воздействия на почвенный покров. Обращено внимание на важность выбора показателей и подбора статистической информации из банка данных агроэкологического мониторинга при оценке уровня воздействия и разработке проектов рекультивации почв, антропогенно-преобразованных вследствие загрязнения и/или техногенного нарушения, а также вследствие интенсификации земледелия.

Ключевые слова: мониторинг, агрохимические показатели, агроэкологическая оценка состояния почв.

В соответствии с учебным планом бакалавриата по направлению 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», профили «Агрохимия и агропочвоведение», «Агроэкология», тема агрохимического мониторинга встречается студентам бакалавриата в разных дисциплинах. Прежде всего – в курсе «Агрохимия», где обучающиеся знакомятся с основами агрохимического обследования почвенного покрова и историей создания агрохимической службы.

Отдельно идет учебный курс «Методы агрохимических исследований», где студенты осваивают правила постановки эксперимента, сведения результатов в итоговые таблицы, статистической обработки полученных данных, комплексного их анализа с привлечением научных публикаций. На этом этапе им нужны данные агрохимического мониторинга по характеристике почвенного покрова земель сельскохозяйственного назначения и других категорий земель.

Без информации о состоянии почв разных районов области и даже страны трудно обойтись и при выполнении курсовых работ и дипломных проектов в области агрохимии, агропочвоведения и агроэкологии, растениеводства и земледелия, где они используются для сравнения и подготовки обоснованных заключений по изменениям агрохимического состояния почв в конкретных географических точках вследствие антропогенного воздействия на них.

Особое значение данные сплошного агрохимического и выборочного агроэкологического мониторинга имеют для таких учебных дисциплин, как «Сельскохозяйственная экология» и «Оценка воздействия на окружающую среду», где они используются при рассмотрении вопросов и оценки силы проявления разных видов деградации почв.

И, конечно, эти данные широко используются в ряде дисциплин прикладного характера в учебных планах магистратуры по направлению «Агрохимия и агропочвоведение», а также аспирантуры по биологическим и сельскохозяйственным отраслям науки – «Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений», «Почвоведение» и «Экология».

Все это свидетельствует о высокой практической и теоретической значимости работ по проведению агрохимического и экологотоксикологического мониторинга и высокой востребованности их результатов в различных областях народного хозяйства [1].

Так, например, результаты агрохимического мониторинга широко используются при составлении проектов научно-обоснованного применения минеральных и органических удобрений на сельскохозяйственных угодьях, при реализации мероприятий по известкованию и фосфоритованию, разработке планов по закладке многолетних насаждений и выращиванию культур в особых условиях (например, вне севооборота) и т.п.

Одно из направлений практического применения результатов мониторинга – это их использование для оценки эффективности работы с удобрениями – по их влиянию на основные агрохимические показатели, для чего необходимы исходные данные по почвенному плодородию [2]. При этом активно используют и данные мониторинга состояния почв на реперных участках, учрежденных в каждой области и имеющих уже длительную историю [3]. Тем более, что показателей мониторинга здесь учитывается несравненно больше, чем в процессе сплошного агрохимического мониторинга. Здесь аккумулируются сведения по основным агрохимическим показателям и содержанию загрязняющих веществ в пахотном слое и по слоям почвенного профиля; содержанию тяжелых металлов, пестицидов и

радионуклидов в растительной продукции; оценивается мощность снежного покрова, химический состав снеговой и дождевой воды и пр. Последнее особое значение имеет при разработке систем удобрения в разных технологиях обработки почвы под культурные растения (no-till, strip-till и т.п.) и в случаях выявления фактов неиспользования сельскохозяйственных земель по прямому назначению и/или ввода их в активное сельскохозяйственное пользование.

Эколого-токсикологическое обследование земель на предмет загрязнения почв сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства токсичными выбросами предприятий, включая тяжелые металлы, обычно проводится на землях предприятий промышленного животноводства, размещающих отходы содержания животных на пашне; на землях предприятий, перерабатывающих растениеводческую или животноводческую продукцию, отходы содержания которых направляются для вторичного использования в растениеводческую отрасль агропромышленного комплекса страны, а также по заявкам отдельных сельхозпредприятий с интенсивным ведением растениеводства (овощеводства), где используются высокие дозы минеральных удобрений.

При этом результаты эколого-токсикологического обследования востребованы как базовые показатели в программах по ликвидации последствий техногенных аварий и чрезвычайных ситуаций, проектах рекультивации загрязненных и антропогенно-преобразованных почв, при проведении экологической экспертизы, разработке технологий ведения органического земледелия в части определения территории для организации такого производства и пр. [4].

Результаты мониторинга целевого использования земель и состояния основных компонентов агроэкосистемы (почвенная биота, поверхностные и подземные воды, приповерхностный слой атмосферы и пр.) имеют важнейшее значение и при организации научных исследований в сфере сельского хозяйства.

И все-таки в современных условиях результаты многолетнего и систематического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения имеют наибольший спрос в работах по оценке состояния почвенного покрова, качества и безопасности почв в следующих случаях:

- при оценке степени деградации и разработке технологии рекультивации почв вследствие химического загрязнения и/или их техногенного нарушения;
- при разработке проектов по размещению отходов в окружающей среде и в процессе оценки воздействия их разовой или длительной утилизации на почвенный покров сельскохозяйственных земель.

Однако для того, чтобы использование результатов мониторинга в таких программах, проектах, технологиях было эффективным, а сами мероприятия стали реальностью, нужно уметь грамотно оценить весь набор показателей из базы мониторинга, выбрать оценочные показатели и обосновать их выбор, а также учесть ряд ландшафтных, погодно-климатических и прочих условий окружающей среды для конкретной территории.

Так, например, в базовый набор показателей при подготовке заключения о качестве и безопасности почв на участке утилизации (использования в качестве органического удобрения) отходов содержания животных, равно как и при разработке проектов рекультивации, относят ряд показателей, фиксируемых при проведении агрохимического обследования на землях сельхозназначения:

- основные агрохимические показатели, характеризующие качество почв: содержание гумуса, подвижных соединений фосфора и калия, рН солевой вытяжки;
- физико-химические показатели, характеризующие устойчивость почв к антропогенному воздействию: сумма поглощенных оснований, гидролитическая кислотность, емкость поглощения почв, степень насыщенности почв основаниями;
- основные показатели, характеризующие безопасность почв: содержание радионуклидов, органических загрязняющих веществ и тяжелых металлов (валовые и подвижные формы), санитарно-микробиологические показатели (индекс БГКП, индекс энтерококков, патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, яйца геогельминтов, личинки и куколки мух) и содержание нитратного азота.

При выборе контролируемых показателей гипотетически предполагают, что могло произойти с почвой за время длительной утилизации органических отходов?

Например, при их длительном использовании возможны:

- 1) аккумуляция ТМ (цинка, меди и др.) из-за использования премиксов;
- 2) перенасыщение экосистемы азотом (загрязнение продукции и грунтовых вод нитратами, эвтрофирование водоемов, выделение в воздух продуктов денитрификации); фосфором (негативное влияние на продуктивность культур из-за резкого дисбаланса элементов питания; эвтрофирование водоемов); калием (избыточное накопление данного элемента в кормах приводит к заболеванию животных, т.к. происходит нарушение калийно-магниевого баланса);
- 3) поступление в почву патогенной микрофлоры (при неправильной подготовке навоза к внесению);

4) ухудшение водно-физических свойств почвы (при внесении жидких форм органических отходов).

В дальнейшем, отвечая на ряд вопросов из гипотезы, оценивают действительное состояние почвы и сопредельных сред. При этом следует иметь ввиду, что доказательство вреда от превышения содержания биогенных элементов в почве далеко не всегда однозначно может быть трактовано как негативное влияние. Чаще всего для окончательного суждения по этому поводу необходимо привлечение эксперта. Именно ему необходимо будет найти факты, доказывающие, например, негативное воздействие аномально высоких концентраций подвижных фосфатов в почве на культурные растения и почвенную биоту.

Совсем отдельный вопрос при этом – трактовка повышения содержания нитратов в почве как показателя повышения экологической опасности системы. Агрохимикам известно, что содержание нитратов в почве может увеличиваться при внесении азотсодержащих минеральных и органических удобрений, в результате микробиологических процессов (нитрификация), выпадения в составе атмосферных осадков. Снижение же концентрации нитратов в почве связано с их потреблением растениями и микроорганизмами, преимущественно в вегетационный сезон, микробиологическими процессами (денитрификация), выщелачиванием (вымыванием в нижележащие горизонты). Косвенное влияние на нахождение нитратов в почве оказывают погодные условия – во влажную и теплую погоду скорость протекания микробиологических процессов значительно выше, чем в холодную и сухую. В связи с этим выявить причинно-следственную связь между поступлением нитратов в почву и их воздействием на почву и биотический компонент агроэкосистемы достаточно сложно.

Затруднения в оценочных работах вызывает также выбор участка для оценки естественного (фоновое) состояния почвы анализируемого участка, т.к. полученные при текущем обследовании результаты нужно будет сравнить с фоновым содержанием элементов и соединений в почве. Выбрать фоновый участок, особенно при проведении экологической экспертизы, весьма непросто. Такой участок должен располагаться в тех же почвенно-климатических условиях, что и исследуемый участок, характер землепользования фонового участка должен соответствовать таковому исследуемого участка, а пробы с этого участка должны быть представительны и учитывать естественную вариабельность почв на оцениваемой территории. Регламентируется также общее количество точечных проб для составления объединенного образца: с площадки 10×10 кв. метров

методом конверта отбирают не менее 5 точечных проб с глубины, заданной целями исследования. При этом допустимо использовать данные предыдущих обследований из банка данных агрохимического и/или агроэкологического мониторинга, что позволяет к тому же доказать не только факт воздействия, его силу, но и оценить тенденции изменения показателей во времени (негативные изменения или, наоборот, позитивные).

Еще одно направление использования данных агрохимического мониторинга почв – оценка возможности выполнения почвой общебиосферных функций почвы, что позволит сохранить жизнь на земле [5]. То есть, почва должна сохранять условия не только для создания продукции культурных растений, но и для функционирования биотического компонента почв: флористического состава и экоморфологической структуры фитоценоза; микрофауны педобионтов (коллемболы и оribати́ды); комплекса надпочвенной (насекомые) и внутрипочвенной (личинки насекомых, олигохеты и многоножки) мезофауны; численности и активности микробиотического сообщества почвенно-биотического комплекса.

Показатели для оценки способности почвы к выполнению биогеоценотических функций должны быть при этом достаточно просты в количественном определении, доступны для использования и пригодны к стоимостной оценке, т.е. должны позволять выразить эту способность не только в технологических функциях плодородия, но и в адекватных стоимостных единицах. Однозначно основой оценки способности почвы не только к проявлению свойств плодородия, но и к выполнению ею общебиосферных функций могут служить агрохимические показатели – содержание гумуса, реакция среды и содержание подвижных соединений фосфора и калия. Это возможно, так как именно они могут быть оценены в стоимостных единицах. Например, по урожайности культур, по затратам на поддержание плодородия (внесение органических и минеральных удобрений) и реакции среды (химическая мелиорация) почвы.

Важным моментом при проведении работ по оценке способности почвы к выполнению общебиосферных функций является выбор не только оценочных показателей, но и критериев для их качественной оценки, а также доступности справочно-регламентирующей или статистической информации для оценочных заключений. Объективность оценки при этом в сильной степени будет зависеть от того, насколько всесторонне выбранные показатели описывают объект исследования (почвы конкретного участка), т.е. описывают условия формирования почвенного покрова, рельеф, гранулометрический состав, удобренность и пр.

Таким образом, основными показателями, используемыми при оценке состояния почв как объекта охраны окружающей среды, таким образом, являются те же, которые предназначены для оценки её плодородия.

Это основные агрохимические показатели – содержание гумуса, подвижных соединений фосфора и калия, реакция среды (рН солевой вытяжки), иногда дополняемые определением показателей состояния почвенного поглощающего комплекса (сумма поглощенных оснований, емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями) и отдельными показателями безопасности почвы (ТМ, нефтепродукты, нитраты и пр.). Основываясь на цифровых значениях этих показателей, составляется заключение о состоянии почв, которое ложится также в основу расчета величины вреда, причиненного почве как объекту охраны окружающей среды.

В целом, можно констатировать широкое использование основных агрохимических показателей при оценке состояния почв земель сельскохозяйственного назначения не только как основного средства производства в отрасли АПК России, но и при оценке экологического состояния почвы как компонента агроэкосистемы, в том числе при проведении экологической экспертизы.

Литература

1. Шафран С.А., Ермаков А.А., Виноградов С.Б., Семенова А.И. Изменение плодородия почв Нечерноземной зоны за 50-летний период / Агрохимический вестник. 2021. №5. С. 3-7.
2. Жуйков Д.В. Мониторинг содержания цинка в агроценозах Белгородской области / Агрохимический вестник. 2021. №4. С. 14-19.
3. Воронин М.Ю., Сискевич Р.Ю., Фролова Н.А. Динамика агрохимических показателей пахотного горизонта почв Липецкой области по результатам локального мониторинга / Агрохимический вестник. 2022. №5. С. 3- 8.
4. Титова В.И. Анализ нормативных актов в практике применения природо-охранного законодательства в АПК России / Агрохимический вестник. – 2019. – № 3. – С. 15-20. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10036.
5. Титова В.И. Подходы к выбору показателей и опыт оценки способности почвенного покрова к выполнению общебиосферных функций / Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т.67. №6. С. 4-16. doi: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.04-16.

**Научное наследие Д.Н.Прянишникова
и кинетическая оценка изменений
внутрипочвенной трансформации азота
в системе почва - растение - удобрение**

Будажанов Л.В., чл.-корр. РАН, д.б.н. профессор

ФГБНУ Бурятский НИИ сельского хозяйства,

г. Улан-Удэ, Россия,

E-mail: nitrolu@mail.ru

Введение

Проблема азота всегда была одной из центральных в научном наследии Д.Н. Прянишникова [1, 2]. Анализ уникального наследия формирует теоретическую и практическую основу в реализации современной концепции диагностики и прогноза азотного статуса почв по скоростным параметрам. В этом понимании, бесценные статьи по управлению питанием растений и плодородием почв в авторской корректуре Д.Н. Прянишникова служат ключевыми критериями в теоретическом обосновании подобных подходов. Прикосновение к этим материалам – не иссекаемая теоретическая платформа совершенствования взглядов на современные проблемы и перспективы тактического и стратегического развития отечественной науки «Агрохимия» [2].

Соответственно, по результатам обширного статистического анализа и математического моделирования данных краткосрочных, многолетних и длительных опытов по изменению и отклику азотного фонда почв под нагрузкой минеральных и органических удобрений предложена концепция диагностики азотного статуса системы почва - растение - удобрение по скоростным характеристикам. Последние вкпе со статистиками выступают «ключом» к построению алгоритма цифрового помощника в оценке азотного состояния почв.

Цель исследований – теоретическое обоснование кинетической концепции по оценке трансформации азота в системе почва - растение - удобрение как практика совершенствования индикаторов азотного статуса почв в развитии научного наследия Д.Н. Прянишникова для земледелия Азиатской России.

Мотивация

При бедном и низком состоянии азотного фонда почв с выраженным дефицитом доступного минерального азота, оценка изменения скоростных (кинетических) характеристик, в т.ч. при внесении удобрений, представляется приоритетной в ряду статических величин. Любые изменения его содержания, особенно под воздействием минеральных удобрений, подчиняются функции экспоненты, а значит, имеют разные кинетические константы (k). Последние выступают объективным критерием в оценке изменения азотного статуса почв на момент времени (t_0), различия которых отражают панораму даже очень незначительных скоростных изменений и выступают наиболее устойчивым критерием диагностики и прогноза азотного их статуса, позволяя значительно расширить классические известные представления. В этом построении, развернутые статистики и кинетика изменений формируют вкупе алгоритм цифрового помощника как технологию оперативного прогноза.

Объекты и методы

Результативность исследований достигнута путём постановки микрополевых опытов на типичных автоморфных почвах (каштановая, серая лесная и лугово-черноземная) Забайкальского края и Бурятии с применением методов изотопно-меченой (^{15}N) индикации [3, 4]. Удобрения вносили ежегодно весной при посеве в виде солей сульфата аммония (Na) и натриевой (Nc) селитры по скользящему графику в две разные повторности опытов с исходным обогащением 10.2 - 89.1 ат. % ^{15}N . Образцы почв и растений отбирались в динамике через каждые 10 дней. Изотопный состав азота определяли масс-спектрометрически. Статистический анализ данных и математическое моделирование изменения азотного фонда почв и урожая культур проводили общепринятыми методами с привлечением пакета стандартных программ Excell 2010. Кинетику изменений оценивали по модели экспоненты с вычленением константы (k) скорости процессов. Подобное позволило сформировать обширную базу данных и серию прогнозных сценариев, которые в совокупном проявлении обеспечивали создание алгоритма цифрового помощника. Характеристика плодородия почв, в т.ч. азотного фонда, была типичной, соответствовала низкому, скудному и бедному составу с экстраконтинентальным режимом функционирования – ГТК 0.08 - 0.51.

Результаты

При выраженном дефиците подвижного минерального азота в почвах, оценка азотминерализующего эффекта (N_0) выступала одним из индикаторов отклика азотного статуса почв и ближайшего резерва доступного минерального азота [5, 6]. Во всех случаях, независимо от различий плодородия почв, в т.ч. и азотного фонда, активности микробоценозов и гидротермического состояния, характер изменений описывался регрессией экспоненты с разной величиной N_0 и кинетической константой (k) процесса на контроле (без удобрений) и при внесении NPK удобрений (табл. 1).

1. Величина азотминерализующего потенциала (N_0) и кинетика (k) минерализации устойчивого и метаболического пула почвенного азота

Вариант оценки		Показатель и параметр оценки	Каштановая	Чернозем южный	Серая лесная	Лугово-чернозем.
без удобрений	N_0	мг /100 г	2,98	3,29	3,69	6,16
		% N общий	2,17	1,15	2,19	1,42
	k , год ⁻¹	устойчивый пул	0,023	0,013	0,025	0,016
		метаболический	0,355	0,380	0,344	0,291
P40 K40 +N60	N_0	мг /100 г	1,14	0,76	0,54	0,34
		% N общий	0,83	0,24	0,31	0,08
	k , год ⁻¹	устойчивый пул	0,008	0,002	0,003	0,0009
		метаболический	0,148	0,121	0,148	0,053

Благодаря кинетической оценке, впервые для криоаридных почв удалось разделить кинетику минерализации органического азота почв на устойчивый (медленноразлагаемая фракция) и метаболический (лабильная фракция) пул, различия которой позволяют выявить возможности пополнения доступного азота по скоростным параметрам. Последние складывались различно и были выше по метаболическому пулу (лабильная фракция) с большими значениями на варианте без удобрений ($k = 0,291 - 0,380$ год⁻¹) с меньшими значениями при внесении азотных туков ($k = 0,053 - 0,148$ год⁻¹). Отсюда, азотные туки кинетически более обеспечивают поддержание азотного фонда почв. При этом, кинетика минерализации устойчивого пула органического азота (медленноразлагаемая фракция) характеризовалась чрезвычайно слабой кинетикой процесса, особенно при внесении удобрений ($k = 0,0009 - 0,008$ год⁻¹). Ранее признанная слабая минерализации трудногидролизующих фракций почвенного азота

[5, 6], в т.ч. и в регионе [7, 8] получила кинетическое подтверждение. В этом видится современное развитие идей Д.Н. Прянишникова [1, 2].

Специфический характер функционирования почв определял значительно меньшие скоростные параметры минерализации азота (k), чем в европейской части России [9, 10]. Подобное обусловлено слабой кинетической активностью микробного пула этих почв с низким энергетическим их состоянием вследствие мерзлотного характера (табл. 2).

2. Микробный пул почв и кинетика (k) активности почвенных микроорганизмов в иммобилизационно-минерализационных процессах

Признак и параметр оценки микроорганизмов, n = 9-12			Каштановая	Серая лесная	Лугово-чернозем
Грибы	k	численность, тыс/г	20,7 ± 1,9	9,17 ± 0,78	85,9 ± 4,82
		скорости роста	0,0004 в год	0,003 в год	0,0004 в год
		активности	0,011 в год	0,001 год ⁻¹	0,001 в год
Актиномицеты	k	численность, тыс/г	1,84 ± 0,49	2,11 ± 0,26	7,37 ± 0,31
		скорости роста	0,014 в год	0,002 год ⁻¹	0,0004 в год
		активности	0,129 в год	0,165 год ⁻¹	0,434 в год

Резюмируя результативность участия основных групп почвенных микроорганизмов в депонировании, высвобождении и пополнении специфического азотного фонда этих почв при поступлении азотных удобрений следует заключить – кинетика (k) активности грибной микрофлоры и актиномицетов повсеместно в почвах превышает кинетику их роста. При этом, кинетическая активность актиномицетов (K-стратегии) в сопряженных процессах иммобилизации и минерализации азота, в т.ч. повторных проявлений (реиммобилизации и реминерализации), значительно превышает аналогичную по грибам (г - стратегии). Подобный характер выявлен ранее рядом авторов для почв европейской части России [11, 12]. В наиболее общем виде, это связано не только с усилением активности микрофлоры (k), но стремлением увеличить энергетический свой статус за счет азота удобрений (иммобилизация), проявляя фундаментальный принцип Ле-Шателье в частном определении.

Заключение

Кинетическая оценка сопряженных процессов внутрипочвенной трансформации азота позволяет значительно расширить панораму изменений азотного статуса почв как практика более полных характеристик.

Литература

1. Д.Н. Прянишников. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.: Академия наук СССР, 1945. 197с.
2. Д.Н. Прянишников. Агрохимия. Третье, значительно дополненное издание, 1940. 644с.
3. Смирнов П.М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N). М.: ТСХА, 1982. 74 с.
4. Кореньков Д.А. Агрохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976. 210с.
5. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 266с.
6. Кудеяров В.Н. Цикл азота и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 216 с.
7. Будажапов Л.В. Динамика превращений иммобилизованного азота в органическом веществе каштановой почвы Бурятии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2009. № 3. С.5-10
8. Гамзиков Г.П., Мангатаев Ц.Д., Пигарева Н.Н. Плодородие лугово-чернозёмных мерзлотных почв. Новосибирск: Наука, 1991. 130 с.
9. Будажапов Л.В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов. М.: ВНИИА, 2019. 288с.
10. Семенов В.М. Процессы круговорота азота в системе почва - растение и эффективность их регулирования агрохимическими приёмами: автореф. дис. докт. биол. Наук. М.: ВИУА, 1996. 36 с.
11. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 1989. 336с.
12. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445с.

Применение изотопной индексации для оценки потоков азота в агроценозах

Завалин А.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»,
Москва, E-mail: zavalin 52@mail.ru*

Азоту принадлежит решающая роль в формировании величины и качества урожая растений, которые используются в сельскохозяйственном производстве для получения различной продукции: зерно, клубнеплоды, различные корма и другие продукты. Наряду с этой функцией, азот определяет экологическую устойчивость агроценозов, поскольку данный элемент участвует во многих процессах, происходящих в почве: азотфиксации, аммонификации, нитрификации, денитрификации. Он непрерывно циркулирует в земной биосфере под воздействием различных химических и нехимических процессов, а также в результате деятельности человека. В этой связи необходимо знание процессов, происходящих в агроценозах при внесении азотсодержащих минеральных и органических удобрений, а также при воздействии других антропогенных факторов на поведение азота в агроценозах, что и явилось целью этой работы.

Оценку потоков азота в агроценозах проводили по данным микрополевых опытов на дерново-подзолистых, темно-серой лесной почвах и черноземах, в которых изучали внесение различных азотных удобрений, меченых стабильным изотопом ^{15}N , под зерновые культуры, многолетние травы и сахарную свеклу. Для определения устойчивости агроценоза проводили расчеты потоков азота, используя следующие показатели: отношение иммобилизованного к реиммобилизованному; непродуцированные потери; количество минерализованного азота; нетто-минерализованный азот и реиммобилизованный азот [1], а также определяли коэффициент использования ^{15}N растениями и потери из вносимых удобрений [2].

Для оценки потоков азота имеет значение использование азота растениями из различных форм минеральных удобрений, меченых изотопом ^{15}N . Из наиболее распространенных форм аммиачной селитры и мочевины коэффициент использования (КИ) растениями азота с учетом различных культур изменяется от 39 до 58% и от 30 до 59%. Максимальное значение КИ характерно для гречихи, овса, яровой

пшеницы, а минимальное для риса, картофеля и ячменя. КИ азота из аммиачной селитры различными культурами изменяется от 31 (озимая пшеница) до 70% (картофель). При использовании в качестве азотного удобрения селитры натриевой и селитры кальциевой КИ N составляет соответственно 47 - 78% и 48 - 57%, максимальное значение КИ из обеих форм характерно для кукурузы.

Оценено также использование ^{15}N удобрений различными культурами с учетом почвенно-климатических условий и биологических особенностей. КИ азота озимой пшеницей составляет $41 \pm 10\%$; яровой пшеницей $37 \pm 5\%$, ячменем 40 ± 5 , кукурузой 44 ± 8 , гречихой 56 ± 5 , картофелем 41 ± 4 , многолетними злаковыми травами 48 ± 9 , многолетними бобово-злаковыми травами 28 ± 7 , рисом $23 \pm 5\%$. Показано, что значение КИ удобрений изменяется в широком диапазоне от 28 до 56%. В этой связи возникает вопрос о повышении коэффициента использования сельскохозяйственными культурами азота из вносимых минеральных удобрений. Проведённые расчёты показали, что повышение КИ растениями может обеспечить рост на 1% [3]. В последние годы объём применяемых азотных удобрений в РФ составляет около 2 млн. т в действующем веществе. При оптимальном значении КИ = 50% растениями потреблено на формирование урожая 1 млн. т азота. Потери и мобилизация азота в почве оцениваются примерно такую же величину, что в денежном выражении в пересчете на Naa и Nm (в ценах 2021 г.) составляет $383 \cdot 10^8$ руб. При увеличении КИ из минеральных азотных удобрений хотя бы на 1% эффект может достигнуть $400 \cdot 10^6$ рублей в год.

Эффективность использования в сельскохозяйственном производстве минеральных азотных удобрений в значительной степени определяют его потери, приходящиеся преимущественно на газообразные соединения. Изотоп ^{15}N позволил выявить размеры газообразных потерь соединений азота при возделывании: озимой пшеницы $32 \pm 12\%$, озимой ржи 40 ± 12 , яровой пшеницы 25 ± 6 , ячменя 30 ± 5 , овса 25 ± 6 , кукурузы на зерно 28 ± 4 , кукурузы на зеленую массу 27 ± 5 , риса 44 ± 14 , гречихи 20 ± 8 , картофеля 28 ± 8 , льна 35 ± 3 , многолетние злаковые травы 21 ± 11 , многолетние бобово-злаковые трав 25 ± 13 , сахарная свекла 22 ± 5 , капуста $26 \pm 3\%$. Из приведенных сведений следует, что размеры газообразных потерь (непроизводительных расходов) азота определяются видами сельскохозяйственных культур, применяемой агротехнологией и конечно почвенно-климатическими условиями. При обобщении большого количества опытов с применением изотопа ^{15}N среднее значение газообразных

потерь азота удобрений составляет 22+-3% (около 20%), которое может быть использовано при расчетах баланса азота в агроценозах.

Оценку режима функционирования агроэкосистемы при внесении азотсодержащих минеральных и органических удобрений проводят по соотношению реиммобилизованного к минерализованному азоту (в %) и по показателю соотношения нетто-минерализованного к реиммобилизованному азоту (в ед.) [1]. Использование вышеуказанных значений позволило оценить критерии функционирования агроценозов различных сельскохозяйственных культур на некоторых типах почв при использовании различных удобрений, способах их внесения, инокуляции семян микробными препаратами, возделывании на различных элементах склона. При выращивании зерновых культур в верхней части склона дерново-подзолистой почвы и при локальном внесении азотного удобрения агроценоз функционирует в допустимом режиме, а при внесении удобрения взброс режим функционирования становится предельно допустимым. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав при обоих способах внесения азотного удобрения режим функционирования агроценоза оценивается как допустимый. В средней части склона на дерново-подзолистой почве при выращивании зерновых культур при разбросном внесении азотного удобрения агроценоз функционирует в предельно-допустимом режиме, а при локальном внесении его статус возрастает до допустимого. Также допустимым режим функционирования агроценоза в средней части склона формируется при локальном внесении азотного удобрения под многолетние бобово-злаковые травы.

При использовании меченой ^{15}N биомассы клевера, люпина и тимофеевки в качестве органического удобрения оценен режим функционирования агроценоза овса на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Агроценоз овса на приводораздельной и в нижней частях склона находится в норме при внесении этих органических удобрений. При внесении в качестве органического удобрения биомассы горчицы белой на чернозёме типичном создается допустимый уровень воздействия на агроценоз сахарной свеклы, тогда как при внесении только минерального азотного удобрения режим предельно допустимый. При сочетании органического и минерального удобрений режим функционирования агроценоза сахарной свеклы остается допустимым. На черноземе обыкновенном внесение под озимую пшеницу меченых ^{15}N горчицы белой и мочевины также обеспечивает допустимый уровень воздействия на агроценоз. При выращивании ячменя на дерново-подзолистой почве использование

минерального и органического удобрений обеспечивают нормальный режим функционирования агроценоза, при этом внесение только аммиачной селитры переводит агроценоз в допустимый режим. Применение эндофитных бактерий на яровой пшенице обеспечивает допустимый режим функционирования агроценоза на темно-серой лесной почве, а при внесении аммиачной селитры уровень функционирования становится предельно допустимым.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
за счет гранта РНФ № 22-26-00105,
<https://rscf/project/22-26-00105/>.*

Литература

1. Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. М.: РАН, 2020. 184 с.
2. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М., Агроксалт, 1999. 296 с.
3. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: ВНИИА, 2022. 256 с.

О методах пространственного дифференцирования применения удобрений на мелиорированных землях Нечерноземья

Иванов А.И., Иванова Ж.А.

*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург,
ivanovai2009@yandex.ru*

Аннотация. В стационарном опыте в полевом севообороте на частично мелиорированном агроландшафте установлены параметры эффективности вариантов точной органо-минеральной ситсеммы удобрения. Уровень прибавки урожая от дифференцированного внесения торфо-пометного компоста (однократно в чистом пару) и минеральных удобрений относительно ЗСУ составил у озимой пшеницы 7-12%, у овса посевного – 5-11%, у многолетних трав – 3-8% и у севооборота в целом – 5-8%. Максимальной эффективности точная система удобрения достигла в варианте, где дифференцированно применялись как органическое, так и минеральные удобрения. Абсолютная прибавка продуктивности севооборота достигла 16,39 т/га зерновых единиц или 116%, а относительно варианта ЗСУ – 2,27 т/га зерновых единиц или 8%. Уровень прибавки продуктивности севооборота при этом повысился на 16%.

Ключевые слова. Агроландшафт, мелиорация, дерново-подзолистая почва, севооборот, агрономическая продуктивность

Ведение товарного земледелия в Нечернозёмной зоне России сопровождается комплексом неблагоприятных условий, преодоление которых во многом связано с успешным применением различных видов мелиоративного воздействия [1, 2]. Даже простое сохранение агресурсного потенциала в масштабах региона сегодня требует обеспечения среднегодовых темпов работ по реконструкции и ремонту осушительных систем на уровне 0,3 млн. га, сведению древесно-кустарниковой растительности – 0,4 млн. га, химической мелиорации – 0,5 млн. га [1, 3, 4]. При этом ключевым аспектом их успешной реализации является решение проблемы дифференцированного восстановления эффективного плодородия почв, пространственная неоднородность которого при мелиорации возрастает [5, 6].

Как показывают результаты длительных исследований, эффективность даже точных систем удобрения в пределах агроландшафтов зачастую ограничивается локально проявляющимся лимитирующим эффектом отдельных агрофизических свойств и геохимических режимов почвы [7]. На мелиорированных же землях региона нередко сочетание в пределах единого агроландшафта почвенных разностей, дифференцированных не только на видовом или родовом, но и на типовом уровнях. Радикальным средством решения проблемы является методология точного окультуривания, когда с использованием мелиорантов почвенные (физико-химические, агрохимические и агрофизические) кондиции доводятся до уровня хорошо окультуренного вида соответствующего типа почвы [7]. Однако практическая реализация такого мелиоративного приёма требует обеспечения колоссальным ресурсным потенциалом [8]. Поэтому по-прежнему остро актуальным остается поиск методов обоснования пространственной дифференциации доз органических и минеральных удобрений с учетом неоднородности комплекса ландшафтно-экологических и почвенных условий в пределах агроландшафта [7].

С целью оценки эффективности точных органоминеральных систем удобрения, базирующихся на учете специфики геохимических режимов отдельных фаций осушаемого агроландшафта, в Меньковском филиале АФИ был заложен ландшафтный опыт в полевом севообороте: чистый пар – озимая пшеница – овёс + многолетние травы – многолетние травы 1-4 года хозяйственного использования. Частично мелиорированный закрытой осушительной сетью агроландшафт площадью 53,65 га расположен на пологом склоне озерно-ледникового происхождения с перепадом высот от 102 до 89 м общей. Почвенный покров представлен мелкоконтурными комплексами глееватых дерново-подзолистых почв легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава, обладающих в пределах пахотного слоя следующими основными параметрами и их пространственной вариабельностью: физическая глина – 28,1 - 33,4% (C_v – 8%), pH_{KCl} – 4,86 - 6,01 (C_v – 101%), гидролитическая кислотность – 2,41 - 3,51 смоль(экв)/кг (C_v – 16%), обменные основания – 3,68-4,67 смоль(экв)/кг (C_v – 11%), органическое вещество – 2,39 - 4,01 % (C_v – 18%), легкогидролизующий азот – 44 - 91 мг/кг (C_v – 31%), подвижный азот – 13 - 26 мг/кг (C_v – 28%), подвижный фосфор – 170 - 293 мг/кг (C_v – 25%), подвижный калий – 66 - 112 мг/кг (C_v – 29%).

Для опыта было подобрано 5 ключевых участков площадью по 300 м², представляющих соответствующие агромикрораншафты (АМЛ) с разной литогенной основой и геохимическими режимами: АМЛ 1 –

элювиальный (на дерново-слабоподзолистой глееватой среднесуглинистой почве), АМЛ 2 – элювиально-аккумулятивный (на дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве), АМЛ 3 – транзитно-элювиальный (на среднесмытой дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве), АМЛ 4 – аккумулятивный (на остаточнокarbonатной дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве), АМЛ 5 – аккумулятивный (на дерново-подзолистой глеевой среднесуглинистой почве). На каждом ключевом участке закладывались мелкоделяночные полевые опыты, где в сравнении с неудобряемым контролем изучались четыре варианта обоснования оптимальных доз удобрений: один по зональным рекомендациям, исходя из средневзвешенных агрохимических показателей почвы агроландшафта в целом (ЗСУ) и три варианта точных систем удобрения (ТСУ) с пространственной корректировкой на ландшафтные условия. При этом исходили из представлений, что в аккумулятивных АМЛ существуют естественные барьеры для горизонтальной и вертикальной миграции питательных элементов. Здесь также ожидалось худшее использование питательных веществ органических удобрений вследствие недостатка тепла и пониженной микробиологической деятельности почвы. А в элювиальных АМЛ сложно предотвратить потери питательных веществ и почвы, и удобрений. С учётом этого схемой опыта предусматривались разные варианты корректировки доз удобрений: только органического – ТСУ 1 (повышение на 30 - 45% в элювиальных АМЛ и снижения на 38% – в аккумулятивных), только минеральных – ТСУ 2 (с противоположной направленностью корректировки), обоих видов удобрений – ТСУ 3 (увеличение общей дозы NPK в элювиальных АМЛ на 12% и уменьшение на 14% – в аккумулятивных).

В качестве органического удобрения в опыте применялся торфопомётный компост (ТПК), который содержал 0,35% N, 1,18% P_2O_5 , 0,86% K_2O и 1,90% CaO. Минеральные удобрения по схеме опыта применялись в основное внесение под озимую пшеницу и овёс, а также в подкормку озимой пшеницы и многолетних трав. Учёт урожая вёлся сплошным весовым методом. Статистическая обработка данных проводилась дисперсионным методом.

Основными факторами флуктуаций в процессах роста и развития культур зернотравяного севооборота выступали неравномерный характер распределения ресурсов тепла и влаги, пространственная неоднородность агрофизических и агрохимических свойств почвы и весьма неустойчивые геохимические режимы в отдельных АМЛ, которые фиксировались и ранее.

Закладка эксперимента в условиях чистого пара способствовала формированию благоприятных параметров подвижного азота, фосфора и калия. Это во многом связано с активизацией минерализации органического вещества почвы и ТПК при стабилизации её теплового и водного режима. Лучший эффект был достигнут в азотном режиме в вариантах с дифференцированным применением органического удобрения ТПК (ТСУ 1 и ТСУ 3). Высоких значений содержания подвижного азота в 68-70 мг/кг в пахотном слое удалось достичь не только в аккумулятивных, но и в элювиальных АМЛ. При этом вариабельность этого важного показателя питательного режима была снижена с 32 до 13%.

Отдельные компоненты продуктивности полевых культур формируются в различные фазы онтогенеза. Сложное сочетание в каждой из них ландшафтно-экологических, погодно-климатических и почвенно-агрохимических условий формирует целую мозаику меняющихся лимитирующих факторов и эффектов. Их негативная сторона связана с гибелью растений, развитием возбудителей заболеваний, ограничением процессов кущения, закладки генеративных органов, налива зерна, часто имеющими выраженную ландшафтную локализацию.

В результате обобщения полученных данных были сформированы убывающие ряды предпочтений отдельных культур к ландшафтно-экологическим позициям и соответствующим им геохимическим режимам. Озимая пшеница на фоне засухи предпочла осушенные аккумулятивные АМЛ с наиболее плодородными почвами и устойчивым водным режимом и ряд принял вид: АМЛ 4 > АМЛ 2 ≥ АМЛ 1 ≥ АМЛ 5 > АМЛ 3.

Овёс посевной в специфичных влажных погодно-климатических условиях, способствовавших преимущественному поражению возбудителем красно-бурой пятнистости в аккумулятивных фациях, отдал предпочтение наиболее теплым и дренированным элювиальным АМЛ: АМЛ 1 > АМЛ 2 > АМЛ 4 > АМЛ 3 > АМЛ 5.

Многолетние травы, имея некоторые отличия в связи со спецификой погоды в отдельные годы, сформировали убывающий ряд предпочтений к устойчивости водного и питательного режима почвы: АМЛ 4 > АМЛ 2 > АМЛ 5 > АМЛ 1 > АМЛ 3.

В среднем по севообороту аналогичный убывающий ряд отзывчивости его культур на условия отдельных АМЛ принял вид: АМЛ 4 > АМЛ 1 > АМЛ 2 > АМЛ 5 > АМЛ 3, полностью соответствующий достигнутому за счет мелиорации параметрам эффективного плодородия почвы в каждом из представленных агромикрорландшафтов. Полученные данные подтверждают устоявшееся мнение о том, что

предпочтение культур и сортов к отдельным ландшафтными позициям имеет выраженную биолого-генетическую специфику. При этом в силу крайней неустойчивости погодно-климатического фактора такая приуроченность не может иметь стабильный характер. Это убедительно подтверждают результаты представленного исследования на многолетних травах при нормальном и засушливом режимах увлажнения.

В целом, в опыте нашло очередное подтверждение представление о высокой окупаемости органо-минеральных систем удобрения в полевых севооборотах Нечернозёмной зоны России. Сформированный по данным прибавки продуктивности севооборота убывающий ряд предпочтительных для применения удобрений ландшафтно-экологических условий (АМЛ 3 (17,24 т/га) > АМЛ 4 (15,49 т/га) > АМЛ 2 (13,23 т/га) ≥ АМЛ 5 (13,15 т/га) > АМЛ 1 (11,99 т/га)) подтвердил определяющее значение в эффективности удобрений неблагоприятных почвенно-агрохимических условий и устойчивого водного режима почвы.

Прибавка продуктивности севооборота от изучаемой в опыте, широко апробированной равномерной системы удобрения за 7 лет достигла высоких значений в 14,12 т/га з.ед. или 100%. Убывающий ряд отзывчивости культур севооборота, относящихся к одному ботаническому семейству, на применение органо-минеральных систем удобрения принял такой вид: многолетние травы > озимая пшеница > овес посевной. Средняя по удобренным вариантам абсолютная прибавка их продуктивности составила 2,52, 2,33 и 2,20 т/га зерновых единиц или 133, 96 и 70% в относительном исчислении соответственно. Здесь прослеживается прямая зависимость от продолжительности активного периода питания культур и их потребностей.

На таком фоне добиться существенного повышения продуктивности культур за счёт дифференцированного применения удобрений весьма сложно. Как показали прешествующие исследования [7] одним из факторов снижения отдачи от дифференцированного внесения удобрений может выступать равномерное применение высоких доз органических удобрений. Это положение подтвердилось и результатами данного эксперимента. Уровень прибавки урожая от дифференцированного внесения торфо-пометного компоста (однократно в чистом пару) и минеральных удобрений относительно ЗСУ составил у озимой пшеницы 7-12%, у овса посевного – 5-11%, у многолетних трав – 3-8% и у севооборота в целом – 5-8%. Он закономерно сокращался по мере минерализации внесенного дифференцированно органического удобрения.

Максимальной агрономической эффективности от точной системы удобрения удалось добиться в варианте ТСУ 3, где дифференцированно (в соответствии с реализованной в виде алгоритма гипотезой) применялись как органическое, так и минеральные удобрения. Здесь абсолютная прибавка продуктивности севооборота относительно неудобренного варианта достигла 16,39 т/га зерновых единиц или 116%, а относительно варианта ЗСУ – 2,27 т/га зерновых единиц или 8%. Уровень прибавки продуктивности севооборота от применяемых удобрений при этом удалось повысить на 16%. Однако этот результат был достигнут во многом благодаря увеличению доз удобрений в транзитно-элювиальном АМЛ с эродированной почвой, что в конечном итоге не позволило повысить окупаемость удобрений.

Таким образом, полученные результаты подтверждают сложившееся представление о критической важности объективной оценки и оперативного управления продукционным процессом культур с учётом ландшафтно-экологической дифференциации. Была подтверждена и одна из рабочих гипотез обоснования пространственного распределения доз органических удобрений в пределах склонового агроландшафта по высотному принципу. В случае наличия в пределах агроландшафта признаков плоскостной эрозии применение этого принципа будет иметь некоторые особенности, связанные с необходимостью ограничения поверхностного стока и компенсации негативных последствий эрозии.

В целом накопленных научных данных по вопросам обоснования дифференцированного применения удобрений с опорой не только на агрохимические, но и на ландшафтно-экологические условия и геохимические режимы агроландшафтов гумидной климатической зоны пока недостаточно для разработки всесторонне обоснованных стратегий точных систем удобрения. Это требует дальнейшей детализации научного поиска в этой области.

Литература

1. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0 / Под ред. С. Г. Митина и А. Л. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2021. 400 с.
2. Архипов М.В., Данилова Т.А., Сеницына С.М. Научные основы эффективного использования агресурсного потенциала Северо-Запада России СПб.-Пушкин: ФГБНУ СЗЦППО, 2018. 135 с.
3. Иванов А.И., Конашенков А.А. и др. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // Агрохимический вестник. 2019. № 6. С. 3-9.

4. Иванов А.И., Гулюк Г.Г., Янко Ю.Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 3. С. 5-13.
5. Дубенок Н.Н., Климахина М.В., Мацыганова Е.В. Повышение почвенного плодородия склоновых земель сельскохозяйственного назначения Нечернозёмной зоны Российской Федерации // Овощи России. 2021. № 4. С. 124-129.
6. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Дубовицкая В.И. Влияние ландшафтных условий на свойства почвенного покрова пахотного угодья на пологом склоне озёрно-ледниковой равнины // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 2. С. 39-43.
7. Aleksey I. Ivanov, Zhanna A. Ivanova, Aleksandr A. Konashevskiy. Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems / Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Chapter 15. P. 349-372.
8. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Конашенков А.А. Экономические перспективы точных систем удобрения в овощеводстве. Агрохимический вестник. 2021. № 5. С. 66-72.

ON METHODS OF SPATIAL DIFFERENTIATION OF FERTILIZER APPLICATION ON RECLAIMED LANDS OF THE NON-CHERNOZEM REGION

Ivanov A.I., Ivanova Zh.A.

*FSBSI "Agrophysical Research Institute",
St. Petersburg, ivanovai2009@yandex.ru*

In a stationary experiment in field crop rotation on a partially reclaimed agricultural landscape, the parameters of the effectiveness of variants of an accurate organomineral fertilizer system were established. The level of yield increase from the differentiated application of peat-litter compost (once in pure steam) and mineral fertilizers relative to ZSU was 7-12% for winter wheat, 5-11% for sowing oats, 3-8% for perennial grasses and 5-8% for crop rotation as a whole. The exact fertilizer system achieved maximum efficiency in the variant where both organic and mineral fertilizers were used differentially. The absolute increase in crop rotation productivity reached 16.39 t/ha of grain units or 116%, and relative to the ZSU variant – 2.27 t/ha of grain units or 8%. The level of increase in crop rotation productivity increased by 16%.

Keywords. *Agrolandscape, land reclamation, sod-podzolic soil, crop rotation, agronomic productivity.*

**Оптимизация гумусового состояния
дерново-подзолистой почвы при длительном
применении различных систем удобрения
в полевых севооборотах**

*Лукин С.М., директор, д.б.н.; Золкина Е.И., научный
сотрудник; Климкина Ю.М., научный сотрудник*

*Всероссийский научно-исследовательский институт
органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ
«Верхневолжский ФАНЦ», г. Владимир, Россия
vniion@vtsnet.ru*

***Аннотация.** Изложены результаты многолетних научных исследований Всероссийского НИИ органических удобрений и торфа - филиала ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ» по проблеме оптимизации гумусового состояния дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава. Показано влияние различных систем удобрения и структуры севооборотов на содержание общего и активного (трансформируемого) органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве.*

Введение

Применение удобрений вызывает значительные изменения в круговороте углерода в агроценозах, направленность которых зависит от вида и доз применяемых удобрений, косвенного влияния удобрений на физико-химические и биологические свойства почв, интенсивность минерализации и гумификации органического вещества. Под влиянием удобрений изменяется продуктивность агроценозов, соотношение отчуждаемой биомассы и пожнивно-корневых остатков, интенсивность минерализации и гумификации органического вещества, усвоение углерода автотрофными микроорганизмами.

В последние годы предложена новая, уточненная система показателей оценки режима гумуса в почвах, которая включает не только определение содержания, запасов и типа гумуса в почве, но и оценку легкоразлагаемых компонентов органического вещества почвы [1, 2].

Целью исследований является оценка влияния длительного применения органических и минеральных удобрений на содержание активных и инертных компонентов в составе почвенного органического вещества в полевых севооборотах на дерново-подзолистых почвах.

Методы и объект исследований

Исследования проводили в длительном стационарном опыте института, заложенном в 1968 году на дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом севообороте: однолетний люпин - озимая пшеница-картофель - ячмень.

Схема опыта: 1. Без удобрений; 2. P50K60; 3. N50P50; 4. N50K60; 5. N50P50K60; 6. Навоз 10 т/га; 7. Навоз 20 т/га; 8. N50P25K60; 9. N50P50K90; 10. Навоз 5 т/га + N25P12K30; 11. Навоз 10 т/га + N50; 12. Навоз 10 т/га + N50P25; 13. Навоз 10 т/га + N50P25K60; 14. N100P50K120; 15. N50P25K60; 16. Навоз 10 т/га + N100P50K120.

В 1984-1989 гг. изучалось последствие удобрений. В 1990 г. в схему опыта были внесены изменения: в варианте 11 стали вносить навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома; в варианте 12 – навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат; 15 – N50P25K60 + солома. Начиная с 2002 г., в варианте 11 используется N100P50K120 + солома; в варианте 12 изучается последствие удобрений на фоне без удобрений и N50. Кроме того в схему опыта добавлен вариант 17 – N50. Остальные варианты сохраняются без изменений с 1968 года. Варианты 6, 8, 10 и 7, 13, 14 выровнены по количеству питательных веществ в дозах, эквивалентных, соответственно, 10 и 20 т/га навоза. Повторность в опыте – 4-х кратная, в контрольных вариантах – 8 кратная, размер делянок – 161 м². Помимо вариантов с удобрениями в опыте имеется бессменный чистый пар, представляющий собой защитную полосу шириной 10 м между 1 и 2 полями стационарного опыта. Свойства почвы перед закладкой опыта: pH 6,2-6,5, гидролитическая кислотность 1,0 - 2,2 мг-экв./100 г, сумма поглощённых оснований 4,8-5,3 мг-экв./100 г, P₂O₅ – 14-25, K₂O – 63 - 104 мг/кг, содержание гумуса 1,05 - 1,17% [3].

В пяти полевых севооборотах с различной насыщенностью зерновыми, пропашными культурами и многолетними травами изучали влияние структуры севооборотов на содержание общего и активного (трансформируемого) органического вещества почв. Определение содержания гумуса проводили по методу Тюрина, содержание активного органического вещества почв определяли по уравнению:

$$C_{trans} = C_{орг} - C_{min},$$

где C_{орг} – содержание ОВ в вариантах опыта; C_{min} – минимальное содержание гумуса в почве длительного чистого пара [2].

Результаты исследований

Исследования показали, что за годы проведения опыта произошли значительные изменения показателей гумусового состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы. Содержание гумуса в почве бесменного чистого пара снизилось на 0,23% или на 21% от исходных запасов. В почве варианта без удобрений (1 поле опыта) содержание гумуса снизилось на 0,19%, что составляет 18% от исходного его содержания в начале опыта (табл. 1).

1. Влияние длительного применения удобрений на содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, (2021 гг., 1 поле опыта)

Вариант	Содержание гумуса к концу 12 ротации севооборота, %	Изменение содержания гумуса, %
1. Без удобрений (контроль)	0,86	-0,19
2. P50K60	0,87	-0,18
3. N50P50	0,86	-0,19
4. N50K60	0,92	-0,13
5. N50P50K60	1,02	-0,03
6. Навоз подстилочный 10 т/га	1,37	+0,32
7. Навоз подстилочный 20 т/га	1,56	+0,51
8. N50P25K60	1,03	-0,02
9. N50P50K90	1,00	-0,05
10. Навоз 5 т/га + N25P12K30	1,06	+0,01
11. N100P50K120 + солома**	1,11	+0,06
12. Последействие удобрений (навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат) **	0,98	-0,07
12а. Последействие удобрений (навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат) + N50**	0,92	-0,13
13. Навоз 10 т/га + N50P25K60	1,15	+0,10
14. N100P50K120	0,98	-0,07
15. N50P25K60 + солома*	0,99	-0,06
16. Навоз 10 т/га + N100P50K120	1,20	+0,15
17. N50**	0,91	-0,14

* - с 1990 года ** - с 2002 года

При использовании полного минерального удобрения также наблюдалось снижение содержания гумуса, хотя и в меньшей степени, по сравнению с контролем без удобрений. Использование среднегодовой дозы навоза 10 т/га способствовало увеличению содержания гумуса на 0,32%, 20 т/га – на 0,51%.

Доля активных компонентов (трансформируемого) органического вещества в общем содержании органического вещества зависела от количества поступающего свежего органического вещества с растительными остатками и навозом и составляла: в варианте без удобрений - 1%, при использовании полного минерального удобрения – 13-17%, навоз в дозе 5 т/ га – 20%, навоз 10 т/га – 23 - 38%, навоз 20 т/га – 46% (таблица 2).

*2. Влияние длительного применения удобрений
на содержание активного (трансформируемого) органического вещества
в дерново-подзолистой супесчаной почве, (2021 гг., 1 поле опыта)*

Вариант	Содержание, %	Доля активного (трансформируемого) ОВ в общем содержании органического вещества, %
1. Без удобрений (контроль)	0,01	1
2. P50K60	0,02	2
3. N50P50	0,01	1
4. N50K60	0,07	8
5. N50P50K60	0,17	17
6. Навоз подстилочный 10 т/га	0,52	38
7. Навоз подстилочный 20 т/га	0,71	46
8. N50P25K60	0,18	17
9. N50P50K90	0,15	15
10. Навоз 5 т/га + N25P12K30	0,21	20
11. N100P50K120 + солома**	0,26	23
12. Последействие удобрений (навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат) **	0,13	13
12а. Последействие удобрений (навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат) + N50**	0,07	8
13. Навоз 10 т/га + N50P25K60	0,30	26
14. N100P50K120	0,13	13
15. N50P25K60 + солома*	0,14	14
16. Навоз 10 т/га + N100P50K120	0,35	29
17. N50**	0,06	7

* - с 1990 года ** - с 2002 года

Почвы не удобренного многолетнего чистого пара и зернопропашного севооборота с 50% пропашных характеризовались минимальным содержанием углерода органического вещества C_{trans} (0 - 6% от общего содержания Сорг. в почве). В зернотравяном и зернотравянопропашном севооборотах с 33% многолетних трав содержание C_{trans} составляло 0,240 - 0,248 % или 31 - 35%. При использовании органи-

ческих удобрений содержание Ctrans увеличивалось в зависимости от вида севооборота и дозы навоза до 0,085 - 0,315%, а доля его достигала 15 - 40% от общего содержания Сорг. в почвах. Отмечена положительная зависимость содержания Ctrans от доли многолетних трав и отрицательная от доли пропашных культур и чистого пара в севообороте.

Выводы

1. Длительное применение удобрений вызывает изменения гумусового состояния почв. Под влиянием повышенных доз органических удобрений происходит увеличение в почве запасов гумуса, в составе гумуса увеличивается доля легко разлагаемых компонентов органического вещества почвы. При использовании минеральных удобрений наблюдается снижение содержания гумуса в почве, хотя и в меньшей степени, по сравнению с контролем без удобрений.

2. Отмечена положительная зависимость содержания Собщ. и Ctrans от доли многолетних трав и отрицательная от доли пропашных культур и чистого пара в севообороте.

Литература

1. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Система показателей гумусного состояния почв. – В кн.: Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. С. 6-17.
2. Кёршенс М., Шульц Е. Органическое вещество почвы: динамика – воспроизводство – экономически и экологически обоснованные показатели. – В кн.: Методы исследований органического вещества почв. - Владимир: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. С. 43-85.
3. Лукин С.М., Марчук Е.В., Золкина Е.И. Продуктивность зернопропашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия. - 2018, № 2 С. 71-78.

Влияние дефицита азота на образование и накопление катехинов, кофеина и теанина в листьях чая разных генотипов

Малюкова Л.С., Великий А.В.

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, e-mail: malukovals@mail.ru

Вопросы сохранения и повышения качества чая в условиях дефицита минерального питания до сих пор изучены недостаточно. Перспективным подходом к решению этой научной проблемы является подбор существующих и создание новых агрохимически эффективных сортов, адаптированных к конкретному уровню почвенного плодородия, и способных лучше, чем существующие, утилизировать питательные вещества из почв и удобрений, а также синтезировать повышенное содержание биологически активных веществ.

Катехины, кофеин и L-теанин – основные вторичные метаболиты чайного растения *Camellia sinensis* (L.) Kuntze. Им отводится ключевая роль в формировании вкусовых качеств, пищевой и лекарственной ценности чая (Yan et al., 2020). Кроме того, они вовлечены в регуляцию жизнедеятельности растений, в частности в процессы адаптации к неблагоприятным условиям (Hong et al., 2014).

В этой связи была поставлена цель изучить профили сложных вторичных метаболитов чая (теанина, кофеина и катехинов), определяющих его вкус, пищевую и лекарственную ценность при различном азотном фоне для наиболее перспективных сортов чая, произрастающих в России.

Исследования проведены в вегетационном опыте на 3-х летних контейнерных саженцах чая 2-х сортов (Колхида и Каратум), которые выращивали в течение 5-ти месяцев (июнь-октябрь 2022 г.) в 6-литровых контейнерах с чистым песком при поливе питательными растворами [0,5 мМ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 3 мМ NH_4NO_3 , 0,5 мМ CaCl_2 , 1,0 мМ K_2SO_4 , 46 мкМ H_3BO_3 , 0,6 мМ MgSO_4 , 9 мкМ MnSO_4 , 2 мкМ CuSO_4 , 9 мкМ ZnSO_4 , 2,6 мкМ Na_2MoO_4 и 30 мкМ Fe-ЭДТА] с концентрацией азота 0 мМ (N-дефицит) или 3 мМ NH_4NO_3 (контроль). В течение этого периода были проведены отборы листьев в динамике (через 2 и 4 месяца их культивирования). Содержание специализированных компонентов в микропобегах чая (кофеин, теанин, (+)-катехин (C), (-)-эпикатехин (EC), (+)-галлокатехин (GC), (-)-эпигаллокатехин (EGC),

(-)-катехин-3-галлат (CG), (-)-эпикатехин-3-галлат (ECG), (-)-галлокатехин-3-галлат (GCG), (-)-эпигаллокатехин-3-галлат (EGCG) методом ВЭЖХ, хроматограф фирмы Agilent Technologies (модель 1100).

Установлено, что образование и накопление теанина в растениях чая (в отличие от других метаболитов) было наиболее опосредовано азотом, что, как предполагается, обусловлено стратегией детоксикации его избыточных количеств (Chen et al., 2022). При индукции дефицита азота установлено практически полное прекращение биосинтеза теанина по истечении 2-х месяцев воздействия при содержании азота в листьях в диапазоне 2 - 3%, которое, по-видимому, являлось пороговым уровнем (рис.1, а) При этом, в листьях сорта Каратум в сравнении с Колхидой, на фоне оптимальной обеспеченности растений азотом, отмечено значительно меньшее содержание теанина.

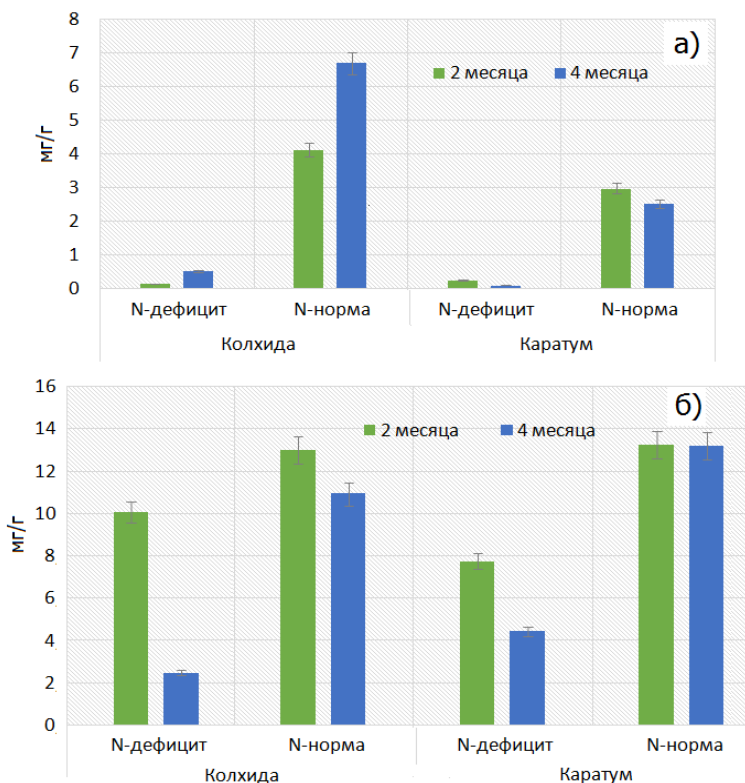


Рис. 1. Содержание и накопление вторичных метаболитов в чае разных сортов: а) теанина; б) кофеина

Кофеин также является важным метаболитом чайного растения, образование которого связывают с адаптивностью чайного растения (Mohanpuria, Kumar, 2010). Установлено, что при дефиците азота содержание кофеина в молодых листьях чая снижалось в 6 раз (в сравнении с контролем) по истечению 4-х месяцев воздействия (рис. 1б).

Для сорта Каратум отмечен менее выраженный ответ на продолжительную азотную недостаточность. В целом, процессы образования кофеина в листьях чая в меньшей степени были ингибированы дефицитом азота (в 1,5 - 3 раза) в сравнении с теанином (в 20 - 30 раз). При этом более тесная корреляция с содержанием азота в листьях чая была установлена с кофеином ($r = 0,84$), в сравнении с теанином ($r = 0,50$).

Катехины относятся к одному из наиболее распространенных классов растительных вторичных метаболитов. Они составляют 12 - 24% сухой массы чайного листа и на 70 - 75% определяют крепость и терпкость получаемого напитка (Wei et al., 2018). Исследования показали, что на фоне дефицита азота усиливались процессы образования и накопления простых катехинов, обусловленные перераспределением фотоассимилятов в направлении образования именно этих веществ. При этом, процессы биосинтеза галлированных катехинов были менее опосредованы азотом; более высокое содержание этих соединений в листьях на фоне дефицита азота (в течение 2-х месяцев) было отмечено только для сорта Колхида (рис. 2, а, б). Нужно отметить, что сорт Каратум в целом выделялся менее выраженным «флавановым ответом» на различные азотные условия.

Таким образом, установлено, что дефицит азота в растениях чая в наибольшей степени ингибирует процессы биосинтеза теанина и кофеина. При этом на фоне азотной недостаточности усиливаются процессы образования и накопления простых катехинов, а для сорта Колхида и галлированных катехинов. То есть азот является одним из регуляторных механизмов моделей синтеза изученных вторичных метаболитов в чае, что позволяет использовать его для расширения их композиций в готовой продукции. Сорт Каратум оказался менее восприимчивым к обеспеченности растений азотом. Эта выявленная генотипическая специфика путей синтеза и перераспределения вторичных метаболитов в различных азотных условиях, указывает на возможность и пути формирования особенных композиций вкуса и аромата конечного продукта.

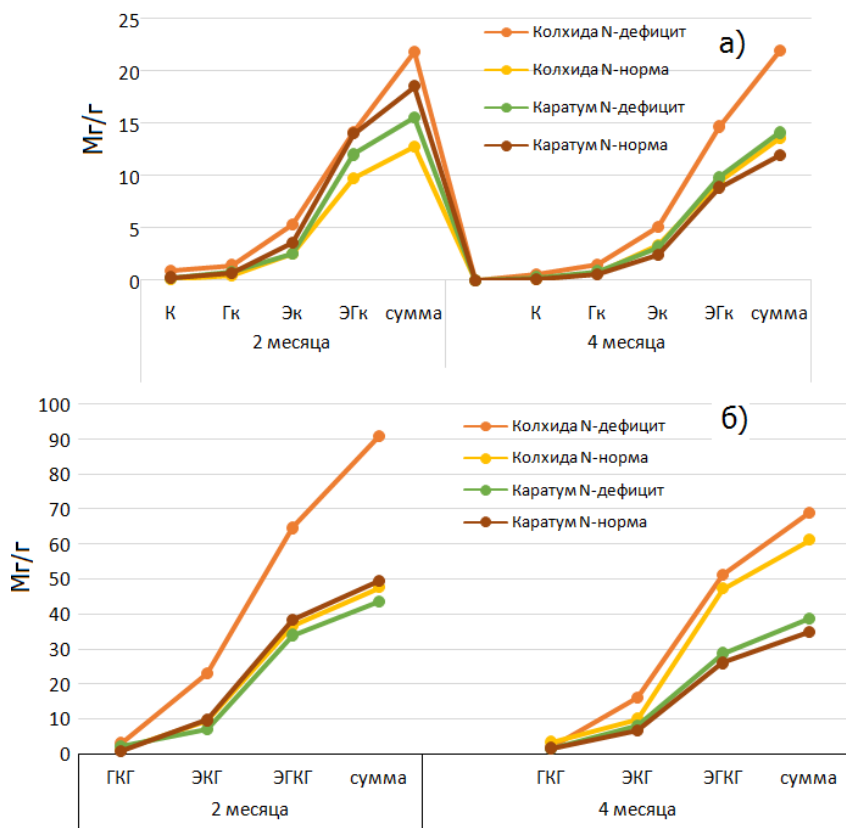


Рис. 2 Содержание и накопление катехинов в чае разных сортов:
а) простых катехинов; б) галлированных катехинов

*Исследования проводятся при финансовой поддержке РНФ,
проект № 22-16-00058.*

Литература

1. Cheng H., Wu W., Liu X., Wang Y., Xu P. Transcription factor CsWRKY40 regulates L-theanine hydrolysis by activating the CsPDX2.1 promoter in tea leaves during withering // Horticulture Research, 2022, V. 9, uhac025 (doi: 10.1093/hr/uhac025).

2. Hong G.J., Wang J., Zhang Y., Hochstetter D., Zhang S., Pan Y., Shi Y., Xu P., Wang Y. Biosynthesis of catechin components is differentially regulated in dark-treated tea (*Camellia sinensis* L.) // *Plant physiology and biochemistry*, 2014, V. 78, P. 49-52 (doi: 10.1016/j.plaphy.2014.02.017).
3. Mohanpuria P., Kumar V., Yadav S.K. Tea caffeine: metabolism, functions, and reduction strategies // *Food Sci. Biotechnol*, 2010, V. 19, P. 275–287.
4. Wei C., Yang H., Wang S. et al. Draft genome sequence of *Camellia sinensis* var. *sinensis* provides insights into the evolution of the tea genome and tea quality // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, V. 115(18): (doi: 10.1073/pnas.1719622115).
5. Yan Z., Zhong Y., Duan Y., Chen Q., Li F. Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits // *Animal Nutrition*, 2020, V. 6(2), P. 115-123. (doi.org/10.1016/j.aninu.2020.01.001).

Динамика плодородия выщелоченного чернозёма и продуктивности зерносвекловичного севооборота при длительном использовании удобрений в ЦЧР

Минакова О.А. - д. с.-х. н.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

Аннотация. Динамика плодородия выщелоченного чернозёма в результате использования удобрений в стационарном опыте от 1 к 10 ротации в наибольшей степени была выражена в повышении гидролитической кислотности (на 5,26-83,3%), содержания обменного K_2O – на 18,9-74,4%, в меньшей степени – подвижного P_2O_5 на 7,81-9,00% (при действии систем $N20P20K20 + 2,8$ т/га навоза и $N30P30K30 + 2,8$ т/га навоза); при этом отмечено снижение емкости катионного обмена (на 27,8-35,7%), гумусности на 7,67-12,3%, $N-NO_3$ – на 25,3-47,7%, а в контроле, в вариантах $N10P10K10 + 2,8$ т/га навоза и $N10P10K10 + 5,6$ т/га навоза P_2O_5 – на 13,3-31,6%. Наивысший уровень плодородия и продуктивности севооборота обеспечивался длительным использованием системы $N135P135K135 + 25$ т/га навоза.

Сахарная свекла – основная культура в РФ для производства сахара [1]. Являясь высокоинтенсивной культурой, сахарной свекла выносит с урожаем значительное количество элементов питания [2], для компенсации которого используется большое количество удобрений; так, в нашей стране в последние годы в её посевах применялось 274-308 кг/га д.в. NPK [3]. Высокая антропогенная нагрузка не может не сказываться на экологическом состоянии свекловичных агроценозов, в частности на агрохимических свойствах черноземных почв [4]. Только в стационарных опытах с удобрениями на основе накопления и обобщения экспериментального материала возможно решение вопросов воспроизводства плодородия пахотных почв и предотвращения деградации земель сельскохозяйственного назначения, а также накопление новых знаний о круговороте биогенных элементов в агроценозах, минеральном питании растений, оптимизации содержания в почве питательных веществ и органического вещества [5]. Для наиболее полной оценки эффективности действия агроприёмов, в том числе и систем удобрения, рассчитывается продуктивность 1 га пашни.

Цель исследования – установить влияние длительного использования удобрений на динамику агрохимических свойств чернозёма выщелоченного и продуктивность севооборота с сахарной свеклой в условиях ЦЧР.

Исследования проводились в стационарном опыте по изучению действия удобрений, заложенного в 1936 году и продолжающегося по настоящее время в окрестностях пос. Рамонь (Воронежская обл.). Почвенное плодородие и продуктивность севооборота изучались в 1 ротации (1936 - 1944 гг.) – краткосрочное применение удобрений и в 10 ротации (2018 - 2022 гг.) – длительное применение удобрений. Почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый на тяжелом карбонатном суглинке. Удобрения применялись в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер одного года использования – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы (травосмесь горох+овес) – овес. Схема опыта: 1) контроль – N0P0K0 (без удобрений); 2) N45P45K45 + 25 т/га навоза; 3) N90P90K90 + 25 т/га навоза; 4) N135P135K135 + 25 т/га навоза 5) N45P45K45 + 50 т/га навоза. В качестве минеральных удобрений в 1 ротации использовалась смесь простых удобрений (аммиачная селитра, суперфосфат, калийная соль), в 10 ротации – нитроаммофоска с содержанием NPK 16:16:16, которые вносились только под сахарную свёклу осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой), навоз – один раз за ротацию в пару, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене. Оценка агрохимических свойств почвы производилась в слое 0-20 см.

Установлено, что содержание гумуса в момент закладки опыта составляло 6,10%, что позволило отнести почву к среднегумусной. В 1 ротации в вариантах N135P135K135 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 50 т/га навоза гумусность оставалась на уровне целины, а в контроле отмечено её снижение на 0,77 абс.% (на 12,6%) (табл. 1), что свидетельствует о значительной дегумификации. В вариантах с использованием удобрений содержание гумуса было выше, чем в контроле на 0,48-0,67 абс.% что в относительном выражении составляло 9,00-12,6%, что уже в 1 ротации перевело почву в градицию малогумусной.

Основные агрохимические свойства в 1 ротации были значительно хуже, чем в 10 ротации. Так, содержание N-NO₃ в большинстве вариантов позволило отнести почву к среднеобеспеченной (в варианте N135P135K135 + 25 т/га навоза – высоко обеспеченной), в контроле –

низко обеспеченной, P_2O_5 и K_2O – повышено обеспеченной (кроме контроля, где она была средне обеспеченной), а по K_2O – высоко обеспеченной в вариантах $N90P90K90 + 25$ т/га навоза и $N135P135K135 + 25$ т/га навоза.

1. Плодородие выщелоченного чернозема, 1 ротация (1936-1945 гг.)

Вариант	Гумус	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O	Hг	ЕКО
	%	мг/100 г почвы			ммоль(экв)/100 г почвы	
Контроль	5,33	1,50	8,88	11,3	2,8	41,7
N45P45K45+25 т/га навоза	5,81	1,60	11,8	12,0	3,8	40,3
N90P90K90+25 т/га навоза	5,94	1,91	11,1	14,8	3,4	39,2
N135P135K135+25 т/га навоза	6,00	2,16	12,8	13,9	3,3	39,4
N45P45K45+50 т/га навоза	6,00	1,75	12,0	11,7	2,4	43,2
HCP ₀₅	0,26	0,09	0,53	0,63	0,15	-*

* – HCP₀₅ не существует

Краткосрочное использование удобрений способствовало повышению содержания $N-NO_3$ относительно контроля на 0,10-0,66 мг/100 г почвы (на 6,67-44,0%), P_2O_5 – на 2,9-3,9 мг/100 г почвы (на 25,0... 44,1%), K_2O – на 0,7-2,6 мг/100 г почвы (на 6,2-31,0%). Лучшие показатели по содержанию $N-NO_3$ и P_2O_5 обеспечивала система $N135P135K135 + 25$ т/га навоза, K_2O – $N90P90K90 + 25$ т/га навоза.

Краткосрочное применение удобрений повышало гидролитическую кислотность относительно контроля на 0,5-1,0 ммоль(экв)/100 г почвы, (на 17,9-35,7%), кроме варианта $N45P45K45 + 50$ т/га навоза, где было отмечено снижение показателя на 0,4 ммоль(экв)/100 г почвы (-14,3%).

2. Плодородие выщелоченного чернозема, 10 ротация (2018-2022 гг.)

Вариант	Гумус	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O	Hг	ЕКО
	%	мг/100 г почвы			ммоль(экв)/100 г почвы	
Контроль	4,92	1,12	6,07	16,1	3,46	26,8
N45P45K45+25 т/га навоза	5,11	0,86	8,95	19,5	4,00	28,2
N90P90K90+25 т/га навоза	5,21	1,26	12,1	19,8	4,24	28,3
N135P135K135+25 т/га навоза	5,43	1,13	13,8	19,2	4,36	28,3
N45P45K45+50 т/га навоза	5,54	1,14	10,4	20,4	4,40	30,4
HCP ₀₅	0,25	-*	0,45	0,82	0,20	1,32

* – HCP₀₅ не существует

В 10 ротации содержание гумуса в слое почвы 0-20 см удобренных вариантов составило 5,11-5,54% (табл. 2), что позволило отнести почву к малогумусным чернозёмам (4,0-6,0%). Относительно контроля гумусность вариантов с удобрениями возросла на 0,16-0,52 абс.% или на 3,9-12,6%, наибольшее повышение было отмечено в варианте с N45P45K45 + 50 т/га навоза, наименьшее – N45P45K45 + 25 т/га навоза.

В 10 ротации было отмечено повышение содержание подвижного P_2O_5 на 47,4-127% относительно варианта без удобрений, K_2O – на 21,1-26,7%, гидролитической кислотности – на 15,6-27,2%, ЕКО – на 5,22-13,4%. Не отмечалось достоверного изменения содержания $N-NO_3$, возможно, вследствие высокой подвижности данного элемента и нестабильности его содержания по годам. Наибольшее содержание P_2O_5 отмечалось в варианте с максимальной насыщенностью NPK – N135P135K135 + 25 т/га навоза, $N-NO_3$ – N45P45K45 + 25 т/га навоза, K_2O – в варианте с удвоенной дозой навоза N45P45K45 + 50 т/га навоза, здесь же отмечалась наиболее высокая ЕКО и содержание гумуса.

В 10 ротации почва опыта по содержанию $N-NO_3$ в большинстве вариантов, кроме N10P10K10 + 2,8 т/га навоза относилось к средне-обеспеченным, P_2O_5 – повышено обеспеченным, K_2O – очень высоко обеспеченном. В контроле обеспеченность P_2O_5 и K_2O была ниже (средняя и высокая соответственно).

От 1 к 10 ротации снижение гумусности составило 0,41 - 0,73% (на 7,67-12,3%), максимальным оно было в вариантах N45P45K45 + 25 т/га навоза и N90P90K90 + 25 т/га навоза (0,70 и 0,73% соответственно), наименьшим – в N45P45K45 + 50 т/га навоза и в контроле (0,41 и 0,46% соответственно). Минимальное снижение в контроле связано с максимальной дегумификацией ещё в 1 ротации. В варианте N45P45K45 + 50 т/га навоза минимальное снижение гумусности с 1 по 10 ротацию объясняется дополнительным поступлением растительных остатков с повышенной (50 т/га в черном пару) дозы навоза. Концентрация $N-NO_3$ от 1 к 10 ротации снижалась на 25,3-47,7%, более всего в вариантах N135P135K135 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 25 т/га навоза, что, отчасти, связано с более значительной дегумификацией почвы в этих вариантах, а менее всего – в контроле и в варианте N45P45K45 + 50 т/га навоза. В контроле, в вариантах N10P10K10 + 2,8 т/га навоза и N10P10K10 + 5,6 т/га навоза от 1 к 10 ротации отмечалось снижение содержания подвижного P_2O_5 на 31,6, 24,2 и 13,3% соответственно, а в вариантах с большей насыщенностью (N90P90K90 + 25 т/га навоза и N135P135K135 + 25 т/га навоза) – повышение на 9,00 и 7,81% соответственно.

Содержание обменного K_2O от 1 к 10 ротации увеличивалось в большинстве вариантов на 2,8-8,7 мг/100 г почвы (на 18,9-74,4%). Минимальное повышение отмечалось в варианте $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, что связано с насыщением почвы данным элементом в 1 ротации, максимальное – $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, вследствие накопительного эффекта повышенных доз навоза, имеющего высокое содержание K_2O , к 10 ротации.

Гидролитическая кислотность с течением времени повысилась на 0,20-2,0 ммоль(экв)/100 г почвы, что в процентном отношении составило 5,26-83,3%. Максимальное увеличение было отмечено в варианте $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза, что связано с относительной стабильностью почвенного поглощающего комплекса первого варианта при краткосрочном применении удобрений, но значительном насыщении ионами кислой природы при длительном использовании, минимальное – $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, что объясняется быстрым насыщением ППК ионом H^+ в начале проведения опыта и относительной стабильностью в последующие годы.

От 1 к 10 ротации отмечалось уменьшение ёмкости катионного обмена на 10,9-14,9 ммоль(экв)/100 г почвы (на 27,8-35,7%). Максимальное снижение отмечалось в контроле, минимальное – в варианте $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза. Возделывание сахарной свеклы снижало ёмкость катионного обмена, но использование систем удобрения с навозом несколько уменьшало темпы потери катионов.

В течение более 80 лет использования удобрений не был отмечен переход обеспеченности P_2O_5 и $N-NO_3$ в градацию более высокой обеспеченности, но отмечался рост обеспеченности K_2O от повышенной и высокой до очень высокой. Это свидетельствует, что уже при краткосрочном использовании удобрений создавалась достаточно высокая обеспеченность P_2O_5 и $N-NO_3$, которая впоследствии поддерживалась в течение длительного времени, а для накопления K_2O требовалось значительное время.

В 1 ротации севооборота урожайность корнеплодов сахарной свеклы на удобренных вариантах незначительно отличалась от урожайности на контроле, прибавки составили 1,0 - 2,9 т/га или 4,18 - 12,1% (рис. 1). Наибольшая продуктивность культуры отмечалась в варианте с максимальной насыщенностью NPK ($N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза), наименьшая – при низкой дозе удобрений ($N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза).

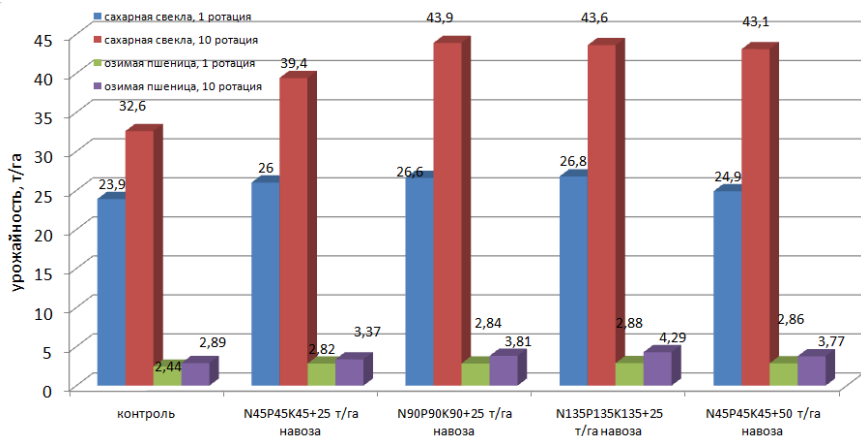


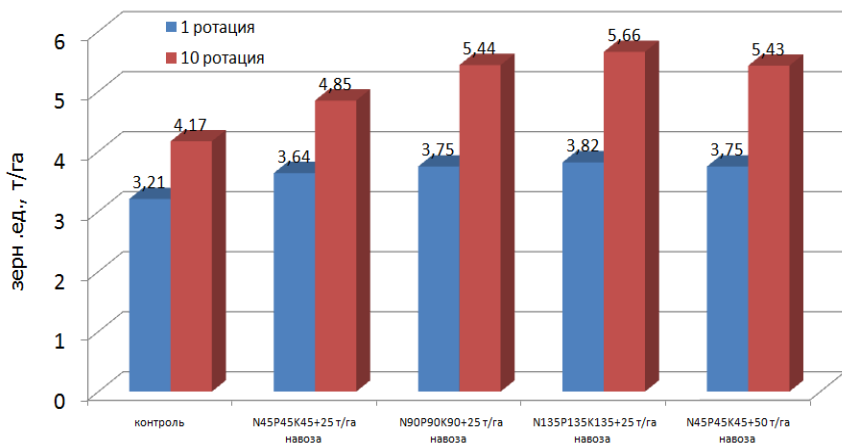
Рисунок 1. Урожайность сахарной свеклы и озимой пшеницы в 1 и 10 ротации

Последствие удобрений проявилось в росте урожайности зерна озимой пшеницы – на 0,38 - 0,44 т/га (на 15,6 - 18,0%), варианты N135P135K135 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 50 т/га навоза обеспечивали её наивысший уровень.

В 10 ротации влияние удобренности проявилось в повышении урожайности зерна озимой пшеницы относительно контроля на 0,17-0,44 т/га (на 5,9 - 15,2%), а корнеплодов сахарной свеклы – на 6,8-11,0 т/га (на 20,9 - 33,7%). Система N135P135K135 + 25 т/га навоза обеспечивала наибольшую урожайность озимой пшеницы, эта же система, а также N90P90K90 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 50 т/га навоза – сахарной свеклы.

От 1 к 10 ротации отмечено увеличение урожайности как сахарной свеклы, так и озимой пшеницы (как в контроле, так и в вариантах с удобрениями). Рост показателя в контроле связан с возделыванием новых высокопродуктивных сортов и гибридов культур. Без учета данного повышения эффект удобрений с течением времени составил 15,1 - 36,7% на сахарной свекле и 1,10 - 30,5% – на озимой пшенице. Максимальное увеличение на сахарной свекле обеспечивала система N45P45K45+50 т/га навоза, озимой пшенице – N135P135K135+25 т/га навоза.

В 1 ротации удобрения обеспечивали повышение продуктивности 1 га пашни на 0,43 - 0,61 т/га зерн. ед. (+13,4 - 19,0% к контролю) (рис. 2). Самый высокий уровень показателя в этот период отмечался в варианте N135P135K135+25 т/га навоза, низкий – N45P45K45+25 т/га навоза.



НСР₀₅ 1 ротации — 0,16, НСР₀₅ 10 ротации — 0,22 т/га зерн. ед.

Рисунок 2. Продуктивность 1 га пашни севооборота, т/га зерн. ед.

В 10 ротации продуктивность 1 га пашни в удобренных вариантах была больше, чем в контроле на 0,68 - 1,49 т/га зерн. ед. (+16,3 - 35,7%), наибольшая – в варианте N135P135K135 + 25 т/га навоза.

С 1 по 10 ротацию продуктивность 1 га пашни (без учёта повышения в контроле на 0,96 т/га зерн. ед. вследствие возделывания высокопродуктивных сортов и гибридов) возросла на 0,25 - 0,73 т/га зерн. ед. (на 3,30 - 18,3%), наибольшее увеличение показателя было отмечено в вариантах N90P90K90 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 50 т/га навоза.

Таким образом, установлено, что лучшие агрохимические свойства выщелоченного чернозема и наивысшую урожайность культур при краткосрочном применении удобрений обеспечивал вариант N135P135K135 + 25 т/га навоза, при длительном – эта же система, а также N90P90K90 + 25 т/га навоза и N45P45K45 + 50 т/га навоза, что свидетельствует о повышении эффективности доз с невысокой насыщенностью NPK при увеличении срока их использования. Максимальная продуктивность 1 га пашни севооборота как в 1 ротации, так и в 10 отмечалась при действии системы N135P135K135 + 25 т/га навоза, что свидетельствовало о наибольшей эффективности системы с высокой насыщенностью NPK, как при краткосрочном, так и длительном использовании удобрений.

Литература

1. Сушков М.Д. Сахарная свекла как основной источник получения сахара в нашей стране // Достижения науки и техники АПК. 2006. №10. С.54-56.
2. Заришняк А.С., Руцкая С.И., Колибабчук Т.В. Влияние удобрений на потребление элементов питания культурами зерно-свекловичного севооборота на чернозёме оподзоленном // Агрохимия. 2003. № 6. С. 39-46.
3. Апасов И.В., Смирнов М.А. Производственно-техническая база свекловодства России // Сахар. 2020. № 10. С. 26-31
4. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Сравнительное действие минеральных и органических удобрений на выщелоченных черноземах Западной Сибири // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 17-19.
5. Сычев В.Г., Романенков В.А., Беличенко М.В. Значение Географической сети опытов с удобрениями для решения современных проблем сельскохозяйственного производства / 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Матер. Всеросс. совещ. науч. учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. 2016. С. 3-10.

Resulted from fertilizer application, change of soil fertility in the layer of 0-20 cm from 1 to 10 rotation appeared as increase of hydrolytic acidity (by 5,26... 83,3 %) and exchange K_2O content (by 18,9-74,4%) to the greatest and mobile P_2O_5 (by 7,81-9,00%) (when using the systems of $N90P90K90 + 25$ t/ha of manure and $N135P135K135 + 25$ t/ha of manure) to the least extent. In addition, decrease of cation exchange capacity (by 27,8-35,7%), humus content by 7,67-12,3%, P_2O_5 by 13.3-31.6 % (in the control and in the variants with $N45P45K45 + 25$ t/ha of manure and $N45P45K45+50$ t/ha of manure), and $N-NO_3$ by 25,3-47,7% was noted. The greatest level of crop rotation fertility and productivity under conditions of fertilizer long-term using is ensured when $N135P135K135$ and 25 t/ha of manure is applied per 1 ha.

Эффективность использования микроудобрений и биопрепаратов при выращивании овощных культур

***Надежкин С.М., Маркарова М.Ю., Терешонок В.И.,
Ушакова О.В.***

*Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение Федеральный научный центр овощеводства
(ФГБНУ ФНЦО)*

E-mail: nadegs@yandex.ru

В 2020-2022 гг. проведены трехлетние исследования по применению удобрений и биостимуляторов в технологиях возделывания столовых корнеплодов, капусты белокочанной, лука репчатого и томата в условиях Нечерноземной зоны России. Проведены экспериментальные исследования влияния на урожайность, качество, биохимические показатели овощей регуляторов роста, микроудобрений и микробных препаратов.

Почвы опытно - производственной базы ФГБНУ ФНЦО дерново-подзолистые тяжелосуглинистые. Агрохимическая характеристика пахотного (0-20 см) слоя почвы перед посевом (высадкой рассады): содержание гумуса по Тюрину – 1,62 - 1,84%, реакция среды pH_{KCl} 6,0-6,1, гидролитическая кислотность 1,26-1,32 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований 19,2 - 20,1 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 93,6 - 94,2%, содержание подвижного фосфора в среднем 440-480 мг/кг почвы, обменного калия 162-183 мг/кг почвы, минерального азота 9-13 мг/кг.

Погодные условия в период проведения исследований значительно отличались от среднееголетних значений. Температура воздуха в среднем за вегетацию в 2020 г. составила +15,8°C, что на 1,0°C выше среднееголетних данных. Существенное влияние на рост и развитие овощных культур оказало влияние большого количества осадков, выпавших в период с мая по июль – 494 мм, что в 2,5 выше среднееголетних значений (+296 мм), эти осадки носили в основном ливневый характер, что негативно отразилось на прорастании большинства овощных культур за счет уплотнения верхнего слоя почвы.

Температура воздуха в среднем за вегетацию в 2021 г. составила +17,2°C, что на 2,4°C выше среднееголетних данных. Ливневый

характер осадков во 2-3 декадах мая сместил сроки высадки рассады овощных (капуста, томаты) и негативно отразился на прорастании многих культур за счет уплотнения верхнего слоя почвы.

Температура воздуха в среднем за вегетацию в 2022 г. составила +15,3°C, что близко к среднемноголетним данным. Температура воздуха в начале вегетации большинства культур была значительно ниже среднемноголетних значений на 1,4-3,2°C, что замедлило темпы прогрева почвы и сместило сроки посева и посадки рассады в среднем на 5 дней. В июне-августе (наиболее активный период вегетации) 2022 г., количество выпавших осадков составило 104,4 мм, что в 2,5 раза ниже среднемноголетних значений, при этом температура воздуха была выше на 2,7°C.

Схема опытов со всеми культурами:

1. Фон N60-120P9060-120K90-150.
2. Фон + Акварин. Некорневая подкормка растений 1-ая – в фазе массового отрастания листьев, 2-ая – через 14 дней, расход агрохимиката – 2,1 кг.
3. Фон+ Хелатон. Некорневая подкормка растений, расход – 10мл/л.
4. Фон + Гумат Экорост. Некорневая подкормка растений, концентрация - расход – 0,6%.
5. Фон + Агрофил. Некорневая подкормка растений, расход – 30г/10 л.
6. Фон + БИС. Некорневая подкормка растений, расход – 30г/10 л.
7. Фон + Тиатон. Некорневая подкормка растений, расход агрохимиката – 10мл/л.

Во всех случаях при некорневой подкормке расход рабочего раствора составлял 300 л/га.

Объекты исследований

Материалом для исследований служил томат трех сортов селекции ФГБНУ ФНЦО – Северянка, Гном и Магнат. лука репчатого – Мячковский 300, Одинцовец и Золотничок, моркови столовой – Нантская 4, Марлинка и Маргоша, свеклы столовой – Добрыня и Любава, капусты белокочанной – гибрид F1 Мечта, сорта Слава 1305, Парус и Зимовка 1474. Агротехника выращивания овощных культур - общепринятая для условий открытого грунта центра НЗ России.

Результаты исследований

Томат. В 2020 г. у сорта Северянка наибольшая товарная урожайность – 25,2-25,4 т/га получена при использовании Гумата и биопрепарата Тридем, что на 32,6-33,7% выше в сравнении с контролем. При использовании Антика и Акварина рост урожайности

достигал 16,8 - 18,4%. Использование нового вида микроудобрений (Хелатон) обеспечивало рост товарной урожайности на 22,6%. В условиях 2020 г. урожайность томата сорта Гном была существенно ниже в сравнении с сортом Северянка. При этом установлено, что наибольшая прибавка товарной урожайности - 3,94,7 т/га характерна для вариантов с использованием Гумата, что выше в сравнении с контролем на 31,4%.

Наименьшее содержание как моно-, так и суммы сахаров в плодах томата сорта Северянка отмечено в фоновом варианте, при обработке Гуматом и Хелатоном отмечена тенденция к увеличению содержания сахаров. У плодов томата сорта Гном тенденция к увеличению содержания сахаров характерна для вариантов с обработками Гумат, Акварин и Хелатон.

Чем выше сахарокислотный коэффициент (7-12) при высоком содержании сахара, тем томаты считаются вкуснее. У томата сорта Северянка наибольший ССК отмечен у контроля, обработок акварином и хелатаном, а у томатов сорта Гном – обработки акварином, гуматом и хелатоном.

Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты у сорта Северянка было отмечено при обработках акварином и хелатоном, тогда как наибольшая сумма антиоксидантов была отмечена у контрольных плодов, а наименьшая – гумата и хелатона.

В 2021 г. в сравнении с контролем наибольший прирост общей урожайности и товарных плодов на сортах Гном и Северянка выявлен при обработке Акварином. В целом прибавка общей урожайности по обоим сортам составила от 10,7% (МБК БИС и Гумат) до 20,1% (Акварин), товарных овощей – от 10,8 (МБК БИС) до 23,4% (Акварин).

Содержание сухого вещества в плодах томата сорта Гном было достоверно выше в вариантах с обработкой МБК БИС, Акварин и Хелатон по сравнению с контролем. Содержание нитратов в плодах томата как Гном, так и Северянка, снижалось в ряду контроль > Антик > Акварин > Гумат $\geq$ Хелатон. Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты в плодах томата было выявлено при обработке растений препаратами БИС, акварин и гумат, тогда как общая сумма водорастворимых антиоксидантов по вариантам обработки достоверно не отличалась. В то же время на сорте Северянка отмечено увеличение содержания как аскорбиновой кислоты, так и суммы водорастворимых антиоксидантов при обработке хелатоном. У томата сорта Северянка содержание ликопина в плодах при обработке акварином и хелатоном существенно выше в сравнении с контролем.

В 2022 г. в сравнении с контролем наибольший прирост общей урожайности и товарных плодов на сорте Гном дала обработка Акварином, на сорте Магнат – БИС. В целом прибавка общей

урожайности по обоим сортам достигала 25,6% (БИС), аналогично выросла и товарная урожайность.

Содержание сухого вещества в плодах томата сорта Гном было достоверно выше в вариантах с обработкой Гуматом и БИС по сравнению с контролем. У сорта Магнат увеличение сухого вещества наблюдалось на всех вариантах относительно контроля, за исключением Акварина. Анализ содержания сахаров в плодах томата сорта Гном показал, что обработки препаратами увеличивали содержание как моносахаров, так и суммы сахаров, относительно контроля.

Таким образом, использование гуматов, микроудобрений и микробных комплексов способствовало существенному росту как товарной, так и общей урожайности томата сортов Гном, Северянка и Магнат. Под влиянием изучаемых приёмов происходило улучшение качества товарных плодов, а именно – возрастало содержание сухого вещества, сахаров и аскорбиновой кислоты.

Лук репчатый. В 2020 г. при использовании гумата и Акварина прибавка урожайности составляла 4,3-4,5 т/га, или 16,6-17,4% к контролю (25,9 т/га). Применение бактериальных препаратов (агрофил и БИС) обеспечивало рост урожайности на 22,8-23,2%. В качестве положительно факта следует обратить внимание на то, что под влиянием изучаемых приемов снижался сбор нетоварной продукции с 1,7 до 1,1-0,6 т/га, в результате чего товарность возросла с 93,8% на контроле до 98,2% при использовании БИС.

Товарная урожайность лука репчатого в условиях 2021 г. в значительной мере определялась изучаемыми приемами. При использовании агрофила, гумата и Акварина прибавка урожайности составляла 2,9-5,0 т/га, или 11,8-20,4% к контролю (22,9 т/га).

Товарная урожайность лука репчатого сорта Мячковский 300 в условиях 2022 г. в значительной мере определялась изучаемыми приемами. При использовании Хелатона, Акварина и БИС прибавка урожайности составляла 5,4-6,9 т/га, или 19,0-24,34% к контролю (28,4 т/га). Применение всех агрохимикатов способствовало увеличению массы луковицы в сравнении с контролем на 8-12 г. В качестве положительно факта следует обратить внимание на то, что под влиянием изучаемых приемов снижался сбор нетоварной продукции с 2,2 до 1,9-2,1 т/га, в результате чего товарность возросла с 92,8% на контроле до 94,6% при использовании БИС.

У сорта Одинцовец максимальная прибавка товарной урожайности получена при использовании Акварина, 5,3 т/га или 30,3% к контролю. Под влиянием биопрепаратов прибавка урожайности до-

стигала 4,5-5,1 т/га (+34,8-35,1%). Количество нетоварной продукции, в зависимости от изучаемых препаратов снижалось на 0,1-0,3 т/га, что способствовало росту товарности с 93,4 до 94,9%.

Биохимический состав лука репчатого по влиянием изучаемых приемов имел тенденцию к улучшению, что проявилось в росте содержания сухого вещества с 1,7,5 до 17,8-19,2% при использовании соответственно гумата и БИС. Сумма сахаров на этих же вариантах возрастала с 12,2% на контроле до 12,6-14,2%, содержание витамина С – с 7,35 до 7,82-10,08 мг/100г.

На содержание сухого вещества в луке сорта Мячковский 300 наилучшим образом повлияли обработки Хелатоном, биостимулятором БИС и Гуматом, для сорта Одинцовец более эффективными для увеличения содержания сухого вещества были обработки препаратами Агрофил и Хелатон. Наибольшее содержание моносахаров было после обработки лука сорта Мячковский 300 Гуматом. Сорт Одинцовец отозвался увеличением содержания моносахаров на обработку Акварином и биопрепаратом БИС. Сорт Одинцовец содержал на 25-50% больше моносахаров, чем сорт Мячковский 300. Содержание аскорбиновой кислоты у сорта Мячковский 300 было на 8-15% выше, чем у Одинцовца.

Морковь столовая. При применении Акварина на сорте Нантская 4 товарная урожайность корнеплодов возрастала на 10,4 т/га, или на 23,1%, общая – на 9,9 т/га, или на 18,9%. Применение хелатона и гумата способствовало росту урожайности на 9,8-9,5 т/га и 8,3-8,4 т/га. Наибольший рост урожайности характерен для вариантов с использованием биопрепаратов Агрофил и БИС – товарная возрастала на 25,3-24,2%, общая – на 19,3-18,2% соответственно. При выращивании сорта Маргоша товарная урожайность возрастала с 44,6 до 56,1-54,6 т/га, или на 25,8-22,5% соответственно при использовании аквариана и хелатона. Применение биопрепаратов увеличивало данный показатель на 27,8-26,7%. Под влиянием гумата и тиатона рост урожайности составил 22,2-23,4% соответственно. Общая урожайность моркови возрастала, в зависимости от изучаемых агрохимикатов, на 16,8-21,0%, при этом наибольший прирост (21,0%) характерен для агрофила, наименьший – (16,8%) для гумата. В качестве положительного факта следует отметить, что под влиянием изучаемых приёмов товарность корнеплодов сорта Маргоша возрастала с 82,9 до 87,6%.

В среднем по всем вариантам содержание сухого вещества было примерно одинаково – 12,48 у сорта Нантская 4 и 12,40 – у Маргоши. Из изучаемых приемов, в среднем по двум сортам, использование

тиатона способствовало тенденции роста сухого вещества на 0,44%, гумата и акварина – на 0,46-0,48%. Содержание моносахаров у сорта Нантская 4 составило 2,30%, а у сорта Маргоша – на 0,44% выше. Изучаемые приемы не оказывали существенного влияния на данный показатель. Сумма сахаров также была выше у сорта Маргоша – 7,90, а у сорта Нантская 4 – 7,48%. В среднем по двум сортам наибольшее положительное влияние на данный показатель оказало использование Акварина – под его влиянием оно возрастало на 0,80%. Различий в содержании аскорбиновой кислоты между изучаемыми сортами не выявлено. Под влиянием акварина, в среднем по двум сортам оно возрастало на 0,86 мг%, Агрофила – на 0,75 мг%. Остальные агрохимикаты способствовали тенденции роста содержания витамина С на 0,40-0,60 мг%.

Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов, в среднем по всем вариантам, составило у сорта Нантская 4 3,48 мг-эквАК/г, у сорта Маргоша – на 0,65 мг-эквАК/г ниже (табл.10). Наибольшее положительное влияние на данный показатель оказали тиатон и гумат. Содержание β-каротина у сорта Маргоша было, в среднем по всем вариантам на 5,94 мг/г ниже, чем у сорта Нантская 4. Из изучаемых приемов большее положительное действие оказали акварин и биопрепараты.

Свекла столовая. Товарная урожайность корнеплодов свеклы сорта Добрыня возрасла с 28,0 т/га на контроле до 35,4-36,1 т/га при использовании Агрофила и БИСсоответственно, или на 26,4-28,9%. Наименьшая прибавка – 19,3% к контролю получена при использовании гумата. Наибольшая общая урожайность – 45,6-45,3 т/га получена при использовании агрофила и БИС-65, что на 19,1-18,3% превышает контроль. Следует отметить, что под влиянием всех изучаемых препаратов товарность корнеплодов свеклы возрасла с 73,1 до 77,3-79,7%.

Содержание сухого вещества в корнеплодах свеклы имело тенденцию к росту на 0,9% при использовании Агрофила. Аналогичная зависимость выявлена и для содержания суммы сахаров. Содержание витамина С при использовании агрофила и хелатона возрасло с 10,6 мг% до 11,9-12,3 мг%, или на 1,3-1,7 мг%. Наибольшие изменения выявлены в содержании бетацианинов. Их количество возрасло со 106 мг-экв на контроле до 180-196 мг-экв при использовании Акварина и Агрофила, или на 74-90%. Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов увеличивалось, в зависимости от применяемых агрохимикатов на 23,1-38,7% к контролю (7,14 мг-экв АК/г).

Содержание нитратов по всем вариантам опыта было существенно ниже уровня ПДК.

Капуста белокочанная. В среднем за три года исследований все испытанные виды некорневых подкормок и обработки положительно отразились на биометрических параметрах кочанов капусты. Так диаметр кочана был больше контроля на 0,6-3,2 см, высота отличалась от контроля 0,8-1,5 см; масса кочана возрастала на 0,5-1,0 кг от контроля. Наилучшим образом на биометрических характеристиках отразилась обработка препаратами Гумат и Тиатон. Урожайность возрастала в ряду контроль - акварин - хелатон - антик -гумат. Наилучшая товарность отмечена для вариантов с фоллиарной обработкой капусты МБК Антик, Гумат и Хелатон.

Таким образом выявлено положительное воздействие на урожайность и качество разных сортов столовых корнеплодов, томата, капусты белокочанной и лука репчатого Акварина, Хелатона, гумата, МБК БИС. Действие регуляторов отличалось по культурам и сортам, что позволило выделить оптимальные для каждой культуры и сорта системы применения микроудобрений и биопрепаратов.



**2. АГРОХИМИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ И
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММАХ
МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЙ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОЦЕНКЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ**



Влияние уровня известкования и минерального питания на продуктивность злаковых трав на нефтезагрязненной олиготрофной торфяной почве

Арзамазова А.В., Кинжаев Р.Р.

ФГБОУ «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, г. Москва

В России значительная часть месторождений нефти расположена в северных районах европейской части страны и Западной Сибири. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется оптимизации технологий рекультивации в регионах с холодным климатом. Одним из перспективных технологических подходов в очистке почвы от загрязнения является биологическая рекультивация, которая основана на сложных химических и биохимических процессах разложения углеводородов нефти различными микроорганизмами до экологически безвредных веществ. Важную роль в этом процессе играют биологические факторы, активизация и оптимизация которых возможна путем применения агрохимических средств.

В связи с этим целью исследования была оценка влияния уровней известкования и минерального питания на скорость деградации нефтепродуктов и продуктивность злаковых трав при выращивании на нефтезагрязненной олиготрофной торфяной почве. В задачи исследования входило определение: агрохимических показателей исследуемой почвы; продуктивности вегетативной массы злаковых трав; остаточного содержания нефтепродуктов.

Вегетационный опыт проводился в вегетационном домике факультета почвоведения МГУ. Почва для опыта (олиготрофная торфяная нарушенная) была отобрана в Ханты-Мансийском автономном округе, с участка на котором был завершен технический этап рекультивации. Содержание нефтепродуктов в почве после технического этапа рекультивации должно быть в диапазоне от 60 до 250 г/кг, что позволяет начать проведение биологического этапа рекультивации. На момент отбора почвы срок нефтяного загрязнения составлял более 3-х лет.

Закладка опыта проводилась в соответствии со схемой, представленной в таблице 1. Длительность эксперимента составила 56 дней.

1. Схема опыта.

№	Вариант
1	Контроль
2	0,5 Нг
3	0,5 Нг + 0,5NPK
4	0,5 Нг + 1NPK
5	1Нг
6	1Нг + 0,5NPK
7	1Нг + 1NPK

Нг – гидролитическая кислотность;

Для проведения опыта были использованы сосуды, вмещающие 2 л почвы. Повторность опыта трехкратная. Предварительно почва была проанализирована на основные агрохимические показатели и содержание нефтепродуктов. В качестве тест-культуры использована рекультивационная смесь, состоящая из злаковых трав: тимopheевка луговая (*Phleum pratense*) – 40%, кострец безостый (*Bromopsis inermis*) – 30 %, овсяница луговая (*Festuca pratensis*) – 30%.

В качестве мелиоранта использовали $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Нейтрализовали гидролитическую кислотность на 50% в вариантах 0,5Нг и 100 % в вариантах 1Нг. Элементы минерального питания вносили в виде следующих солей: N – NH_4NO_3 ; P – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; K – K_2SO_4 . Были созданы два уровня обеспеченности почв минеральным азотом, подвижным фосфором и обменным калием: средний (0,5 NPK) - питательные элементы в дозах N 300 мг/кг, P 300 мг/кг, K 375 мг/кг); повышенный (1NPK) – питательные элементы в дозах P 500 мг/кг, K 650 мг/кг.

Определение агрохимических свойств почвы осуществлялось в соответствии со следующими методами (с учетом особенностей анализа торфяной почвы): pH_{KCl} (ГОСТ 26483); влажность почвы (термостатно-весовой метод) (ГОСТ 11305-2013); гидролитическая кислотность по методу Каппена (ГОСТ 26212); подвижные формы фосфора и обменного калия по методу Кирсанова (ГОСТ 26207); содержание нефтепродуктов – методом ИК-спектрометрии (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98). Учёт сырой биомассы злаковых трав произведен путем срезки и последующего взвешивания всех растений из сосуда. Статистическая обработка данных проведена с использованием программы Microsoft Office Excel и STATISTICA 10. Данные в таблицах и рисунках в виде средних и их стандартных отклонений.

В нефтезагрязненной олиготрофной торфяной почве перед закладкой вегетационного опыта был определен ряд агрохимических показателей и содержание НП (табл. 2).

2. Агрохимические показатели и содержание НП в почве опыта.

Лиготрофная торфяная почва	pH	W	Hг	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cl-	НП
	ед.	%	ммоль/100 г	мг/кг			
Контрольный вариант	3,85	326	127,2	12,2 ± 1,5	14,6 ± 2,6	397	129 400 ± 2 225

Олиготрофная торфяная почва, используемая в опыте, по степени кислотности относится к категории очень сильно кислых. Уровень обеспеченности подвижными формами фосфора и обменного калия в соответствии с «Группировкой торфяных почв по обеспеченности элементами минерального питания растений», разработанной Белорусским НИИ почвоведения и агрохимии, характеризуется как низкий. Степень загрязнения нефтепродуктами согласно «Методическим рекомендациям по выявлению деградированных и загрязнённых земель» – очень высокая. В течении опыта, старались сохранять естественный высокий уровень влажность, характерный для верховых торфов.

По окончании периода эксперимента, в отобранных образцах почв, определили уровень pH, для оценки эффективности известкования (табл. 3). В вариантах, произвесткованных по половине гидролитической кислотности, в среднем показатель pH достиг 5 ед., почва перешла в категорию средне и слабокислых.

3. Оценка эффективности известкования.

№	Вариант опыта	pH _{KCl}
1	Контроль	3,85
2	0,5 Нг	5,31
3	0,5 Нг + 0,5NPK	5,15
4	0,5 Нг + 1NPK	4,86
5	1Нг	6,46
6	1Нг + 0,5NPK	6,19
7	1Нг + 1NPK	6,01

В вариантах, где гидролитическая кислотность нейтрализовалась полностью, почва по степени кислотности стала близкой к нейтральной.

Одной из основных задач исследования было выявление агрохимических условий наиболее благоприятных для роста и развития трав-фитомелиорантов. Травянистые растения способны улучшать структуру почвы и увеличивать ее воздухопроницаемость.

Корневые выделения и продукты разложения трав способствуют развитию почвенной биоты, образующей высокоактивный саморегулирующийся «конвейер» деструкторов. Таким образом, от интенсивности и устойчивости развития трав - фитомелиорантов зависит эффективность процессов окончательного очищения и восстановления плодородия почв (Арзамазова и др, 2015).

По результатам учета биомассы злаковых трав отмечено, что наблюдается положительное влияние на продуктивность как известкования, так и использования удобрений по сравнению с контролем (рисунок 1).

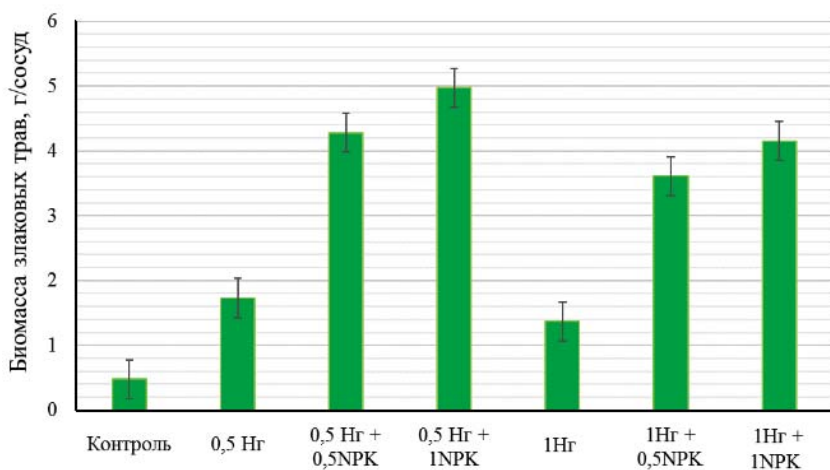


Рисунок 1. Биомасса злаковых трав, г/сосуд

Минимальная биомасса злаковых трав сформировалась на контрольном варианте, что связано с высоким уровнем нефтезагрязнения на фоне крайне неблагоприятных агрохимических свойств почвы. В вариантах с известкованием (0,5 Нг, 1 Нг) количество

биомассы трав имело тенденцию к возрастанию относительно контрольного варианта.

Наибольшая биомасса растений была зафиксирована на вариантах с применением удобрений при известковании по 0,5 Нг. Биомасса злаковых трав увеличилась по сравнению с контрольным вариантом почти в 9-10 раз. При этом существенных различий по биомассе между вариантами со средним (0,5Нг + 0,5NPK) и повышенным (0,5Нг + 1NPK) уровнем обеспеченности растений макроэлементами не выявлено.

На фоне полной нейтрализации Нг и применении удобрений рост продуктивности трав произошел в 7-8 раз. Снижение биомассы на фоне известкования по 1 Нг по сравнению с известкованием 0,5 Нг при применении удобрений, вероятно, может быть обусловлено несколькими причинами: высокие дозы извести и удобрений увеличивают концентрацию солей, что затрудняет развитие растительности; в почве может наблюдаться недостаток микроэлементов (Cu, Zn, Mn и др.), в связи с образованием их слаборастворимых форм с гидроксид-ионом, при внесении $\text{Ca}(\text{OH})_2$; фосфорные удобрения, взаимодействуя с известью ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), образуют нерастворимые формы, в результате чего доступность фосфора для растения падает. Таким образом, наиболее благоприятным агрохимическим фоном для роста злаковых трав на нефтезагрязненной олиготрофной торфяной почве оказались варианты с внесением повышенной дозы минеральных удобрений на фоне известкования по 0,5 Нг. Корреляция между биомассой трав и остаточным содержанием НП равна 0,78 при уровне значимости 0,05.

Тенденция к снижению содержания НП зафиксирована при возрастании дозы внесенных удобрений (рисунок 2): на фоне известкования по 0,5 Нг снижение остаточного содержания НП при удобрении в 0,5NPK составило 12%, а при применении 1 NPK – 17%; на фоне известкования по 1 Нг при удобрении в 0,5NPK – 10%, а при применении 1 NPK – 14%.

Наибольшее снижение содержания НП после вегетации было зафиксировано на произвесткованных вариантах с повышенным уровнем обеспеченности питательными элементами и составило в среднем 12-16% при известковании по 0,5 Нг и 10-12% при известковании по 1 Нг.

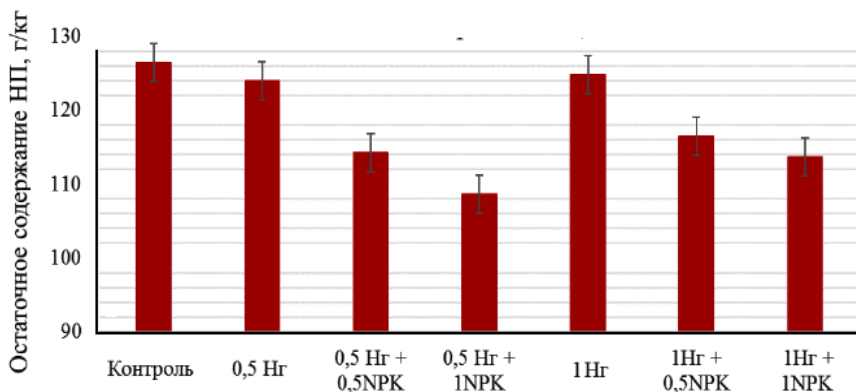


Рисунок 2. Остаточное содержание НП по завершении опыта, г/кг

Значимых различий между остаточным содержанием НП в контрольном варианте и вариантами с проведением известкования без внесения удобрений не найдено.

Таким образом, наиболее благоприятным агрохимическим фоном для роста злаковых трав и деградации нефти на олиготрофной торфяной почве при изученном уровне нефтезагрязнения оказался вариант с созданием повышенного уровня обеспеченности элементами минерального питания на фоне известкования по половине гидролитической кислотности.

Литература

1. Арзамазова А.В., Кинжаев Р.Р., Брыковская Н.Н., 2015. Особенности минерального питания трав - ремедиантов в зависимости от степени загрязнения почв нефтепродуктами // Агрохимия. № 11. С. 71 – 78.
2. Практикум по агрохимии / Т.Н. Большева, А.В. Арзамазова, В.С. Егоров и др. — Отдел полиграфии научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова г. Москва, 2021. — 143 с.
3. Ферментативная активность почв: Метод. пособие / Ф. Х. Хазиев; АН СССР, Башк. филиал, Ин-т биологии. — Москва: Наука, 1976. - 180 с.
4. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. - Уфа: Гилем, 2001. — 376 с.
5. Звягинцев Д.Г., Умаров М.М., Чернов И.Ю., Марфенина О.Е., Лысак Л.В., Гузев В.С., Волде М.И., Кураков А.В., Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Деградация и восстановление нефтезагрязненных почв // Деградация и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 423-435.

Секвестрация углерода из чистых органических отходов как альтернатива ОСВ

Павлов¹ К.В., Воронина^{1,2} Л.П., Поногайбо² К.Э.

¹ - Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия

² - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия,

По ходу исторического развития цивилизации зачастую приходится обращаться к пересмотру стратегии мышления по насущным проблемам, в частности, экологическим, которые необходимо решать для самосохранения, и эффективность решения которых зачастую переходит в юридическую и экономическую плоскость. Так, например, масштабы выделения парниковых газов, способных изменить состояние нашей планеты, инициируют перед нами новые проблемы в регулировании сложных систем, в частности, системы обращения с отходами [1 - 3].

Осадки сточных вод

Значительный ущерб природной среде наносят размещаемые в ней неизбежно образующиеся с катастрофической скоростью отходы, представленные осадками сточных вод (ОСВ). ОСВ являются побочным органическим продуктом, возникающим при очистке городских сточных вод на очистных сооружениях. Нетехнологичное размещение такого рода отхода существенно повышает риск загрязнения и деградации природных объектов, соприкасающихся с ним. По данным Мосводоканала в г. Москве при населении чуть более 12,5 млн. человек (данные на 2020 год) ежегодно образуется 9 млн. куб. м жидких ОСВ, требующих обезвреживания и утилизации. Ежегодно в России накапливается более 2 млн т осадков в расчете на сухое вещество [4, 5].

Контроль

Перед использованием осадки сточных вод должны пройти переработку, обезвреживание и тщательный многосторонний анализ с целью контроля их безопасности. Все эти процедуры непростые, требующие вложения немалых инвестиций. Причем чтобы обеспечить безопасность здоровья человека, соприкасающегося с его использо-

ванием, требуется сложный, постоянный а, следовательно, дорогостоящий санитарно-гигиенический и химический контроль, практически в режиме реального времени.

Однако присутствие комплекса веществ химической и биологической природы, существенно изменяющегося во времени в зависимости от многих факторов среды, усложняет оценку безопасности данного объекта. Список веществ, входящих в состав ОСВ стремительно расширяется. Осадок сточных вод может содержать широкий спектр вредных токсичных загрязнителей, таких как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), ди(2-этилгексил)фталат (ДЭГФ), эндогенные гормоны, фармацевтические препараты, содержащие канцерогенные и гормональные вещества, синтетические стероиды, а также средства личной гигиены, продукты, остатки моющих средств и др. [6-8]. Более того, недавние исследования показали накопление микропластика в сельскохозяйственных почвах после использования шлама в качестве удобрения [9]. В настоящее время расширяется внедрение передовых, но в то же время дорогостоящих аналитических методов контроля, позволяющих определять следовые уровни содержания наркотиков и других появляющихся загрязнителей [8, 9]. Все это свидетельствует о сложности мер контроля и практически недоступности использования данного вида отхода в качестве сырья для бизнеса, а, значит, и скорейшей его утилизации.

Законодательная часть

На сегодняшний день существуют государственные стандарты и нормативы, регламентирующие применение ОСВ и продуктов их переработки в качестве удобрения. Стоит подчеркнуть, что документы разработаны различными ведомствами (Министерство здравоохранения, Министерство сельского хозяйства), и значения нормированных величин в них несколько отличаются.

Санитарно-гигиенический контроль за основными рисками, связанными с сельскохозяйственным использованием продуктов из осадка сточных вод в связи с потенциальным присутствием в нем патогенов и загрязняющих веществ, в настоящее время вызывает вопросы. В действующем СанПиН № 2.1.3684-21[13] регламенты по использованию ОСВ отсутствуют, а СанПиН 2.1.7.573-96 "Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения" признан недействительным [14]. В это же время Министерство природных ресурсов и экологии РФ для обращения с ОСВ продолжает руководствоваться Приказом №536 «Об

утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» от 4 декабря 2014 года [15]. В ряде случаев при использовании ОСВ мы по-прежнему встречаем ссылки на документы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии – ГОСТ 54535 – 2011 (Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах) [16] и ГОСТ Р 54651–2011 (Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия) [17]. Эти ГОСТы остаются действующими, хотя при разработке входящих в них регламентов используется СанПиН 2.1.7.573-96, который на настоящий период отменен.

Решения, принятые по обращению с ОСВ на основании вышеперечисленных документов, касаются использования продуктов на основе ОСВ для технических работ и под технические культуры. Однако стоит подчеркнуть, технические субстраты и другие продукты, которые производятся с включением ОСВ, не используются в сельском хозяйстве. Действующий и утвержденный заместителем Министра сельского хозяйства от 2000 г. «Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения» содержит в себе ссылку на отмененный СанПиН. Таким образом, на сегодняшний день отсутствует гармонизированный подход в контроле за безопасностью применения ОСВ в сельском хозяйстве.

Чистая органика как решение экологических проблем

На наш взгляд, одно из решений этих проблем кроется в четком разделении органических и промышленных отходов. Во многих случаях органические отходы, как бытового, так и производственного происхождения оказываются достаточно чистым органическим сырьем, их загрязнение происходит при последующем смешивании с промышленными неорганическими стоками. При смешивании органические отходы снижают концентрацию сильно загрязненных промышленных стоков и частично их нейтрализуют, но при этом очистные сооружения уже не могут справиться с нейтрализацией неорганического загрязнения и теряется много органического вещества в виде газов. Технологии очистки должны уже на начальной стадии предусматривать этапы/пути разделения органических отходов, поддающихся обеззараживанию и трансформации в нетоксичные вещества и опасных, неразлагаемых токсичных неорганических отходов.

С одной стороны, изначально чистые от химического загрязнения органические отходы могут являться важным сырьем для пополнения органического вещества почвы, способствуя повышению её био-

логической активности и плодородия. С другой стороны, почва сама является нейтрализатором многих органических компонентов за счет активного участия в их трансформации микробного сообщества почвы. При необходимости можно существенно стимулировать активность микробной нейтрализации биоотходов, добиваясь перевода первоначальной неспецифической органики в почвенный гумус [18 - 20]. За последние два десятилетия произошел существенный прогресс в понимании биodeградации и детоксикации компонентов органических отходов, осуществляемых почвенным микробным сообществом, что существенно расширяет перспективы развития новых технологий их переработки, обеззараживания и обезвреживания [21 - 24]. Изучение роли микробных сообществ в комплексе с агрохимическими приемами должно явиться основой целостной и системной технологии для подготовки органических модифицированных субстратов и иметь ключевое значение для повышения и усиления природных процессов.

Таким образом, существует принципиальная возможность рассматривать чистые от неорганического загрязнения биоотходы (органические отходы) как важный ресурс для секвестрации углерода и повышения плодородия почвы. Под биоотходом в отличие от ОСВ нами понимается «чистый» органический отход, технология получения которого исключает смешивание с биологически не разлагаемыми веществами, представляющими опасность для здоровья человека (тяжелые металлы и другие представляющие опасность вещества), присутствующими в промышленных стоках. Проблема заключается в том, что в настоящее время нет понимания ценности биоотходов как востребованного сырья и они обычно превращаются в ОСВ со всеми вышеперечисленными проблемами. Необходимость в комплексе новых технологических решений и строгих мерах их соблюдения должна привести к формированию «чистого» органического продукта (биоотхода) – ценного продукта для инвесторов. Система многоуровневых технологий должна предусмотреть объемы переработки, исключаяющие риск для человека и негативного воздействия на объекты окружающей среды.

Введение и юридическое закрепление такого понятия позволит упростить законодательную базу для операций с биоотходами в отличие от ОСВ. Также необходимы стимулирующие экономические мероприятия, позволяющие ускорить создание агротехнологий применения биоотходов, включение их в биокруговорот и повышение с их использованием почвенного плодородия. Государственное регулирование этого технологического направления, пакет государственных инвестиций, способствующий развитию бизнеса, явились бы важными

и перспективными мерами в решении экологических и сельскохозяйственных проблем, способствуя повышению секвестрации органического вещества в почву.

Перспективы

Секвестрация углерода в почву должна сопровождаться экономическими мерами и иметь юридические основы. В этих мерах заинтересованы не только сельское хозяйство и природоохранные службы, но формирование такого продукта привлекательно и для коммунального хозяйства, в связи с рециркуляцией и сокращением массы отхода, поступающей на образование ОСВ. Органическое вещество почвы может быть быстро потеряно при интенсивном возделывании сельскохозяйственных культур из-за повышенной скорости минерализации органического углерода после обработки почвы в дополнение к потерям от эрозии. Экосистемы, используемые в сельском хозяйстве, обладают потенциалом поглощения углерода при условии применения современных ресурсосберегающих технологий. Очевидно, что в сельскохозяйственном производстве должны развиваться и использоваться новые технологии землепользования, которые могут способствовать утилизации отходов. Биоотход, являющийся «чистым» продуктом может быть потенциально полезным для улучшения сельскохозяйственных угодий, так как в его составе присутствуют основные питательные вещества – азот, фосфор и микроэлементы. Превращение биоотходов в органическое удобрение, характеризующегося относительно стабильным составом, с учетом разработанной технологии, позволит сократить внесение удобрений, улучшить агрофизические и биологические свойства почвы, снизить риск эрозии. Так же возможно создание технологий непосредственного использования биоотходов при компостировании с «бедной» почвой и превращение её в плодородную.

Таким образом, на наш взгляд, чистый органический отход (биоотход) в отличие от ОСВ должен рассматриваться как ценный природный ресурс. Создание агротехнологий применения биотходов может существенно повысить секвестрацию углерода, обогатить почву гумусом и элементами питания без ущерба для окружающей среды.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка и оценка комплекса инновационных агрохимических средств, мелиорантов и регуляторов роста в условиях агро-, техногенеза и городской среды» (ЦИТИС:121041300098-7).

Литература

1. Нургалиев, Д. К., Селивановская, С. Ю., Кожевникова, М. В., & Галицкая, П. Ю. Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации // Георесурсы, 2021. 23(3), 8-16.
2. Брындина Л.В., Свистова И.Д., Бакланова О.В. Восстановление микробиологической активности почв после гербицидного стресса // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – №. 2 (46). – С. 43-55.
3. Тюрина, Е.А., Свиридов, М.К., Нестерова, О.В., Сакара, Н.А. Бизнес-модель применения биоугля сельхозпроизводителями с учётом концепции LCA (Life Cycle Assessment) и углеродного следа. Известия Дальневосточного федерального университета. // Экономика и управление, 2022. (4 (104)), 106-120.
4. Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения // Агрохимия, 2020, № 8, с. 70–77.
5. Смирнов Ю.Д., Сучкова М.В. Перспективы полезного использования золы сжигания осадка сточных вод в народном хозяйстве // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (79). С.16-25.
6. Воронина Л.П., Поногайбо К.Э., Лаптинская П.К., Касатиков В.А. К вопросу об экотоксикологической характеристике агрохимикатов на основе осадков городских сточных вод. в журнале Проблемы агрохимии и экологии, № 3-4, с. 32-41. DOI: 10.26178/AE.2022.97.44.004
7. Delibacak, S., Voronina, L. & Morachevskaya, E. (2020). Use of sewage sludge in agricultural soils: Useful or harmful. Eurasian Journal of Soil Science, 9 (2), 126-139. DOI: 10.18393/ejss.687052
8. Bellroom B. Advancing Wastewater Surveillance to Complement Community and Environmental Health Measures.
9. Bradley O. Clarke, Stephen R. Smith. Review of ‘emerging’ organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids // Environment International 37 (2011) 226–247. doi:10.1016/j.envint. 2010.06.004
10. Giacomini Sandro José, Guedes Simon Vera Lúcia, Aita Celso, Bastos Leonardo Mendes, Weiler Douglas Adams, Redin Marciel. Carbon and nitrogen mineralization in soil combining sewage sludge and straw // R. Bras. Ci. Solo, 2015. 39:1428-1435.
11. Тюрина, Е.А., Свиридов, М.К., Нестерова, О.В., Сакара, Н.А. (2022). Бизнес-модель применения биоугля сельхозпроизводителями с учётом концепции LCA (Life Cycle Assessment) и углеродного следа. Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление, (4 (104)), 106-120.
12. Kookana R.S. The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils: A review // Aust. J. Soil Res. 2010. Vol. 48. P. 627–637. — DOI 10.1071/SR10007

13. 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".
14. СанПиН 2.1.7.573-96 "Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения".
15. Министерство природных ресурсов и экологии РФ (2014). Приказ № 536. Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/420240163> [Дата обращения: 27.05.2019].
16. ГОСТ 54535 – 2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах. М.: Стандартинформ, 6 с.
17. ГОСТ Р 54651–2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. М.: Стандартинформ, 14 с.
18. Рабинович, Г.Ю., Ковалев, Н.Г., Фомичева, Н.В. Новый вид биологически активных средств: получение, состав, перспективы использования. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2007. (3), 71-73.
19. Заболотских, В.В., Танких, С.Н., Васильев, А.В. Технологические подходы к детоксикации и биовосстановлению нефтезагрязнённых земель. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2018. 20(5-3), 341-351).
20. Dinova, N., Peng, W., Kirilova-Belouhova, M., Li, C., Schneider, I., Nie, E., He, P. Functional and molecular approaches for studying and controlling microbial communities in anaerobic digestion of organic waste: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2023. 1-28.
21. Селивановская, С.Ю., Галицкая, П.Ю., Курицин, И.Н., Зверева, П.А., Чурсина, М.А., Гумерова, Р.Х., Латыпова, В.З. Биотехнологии переработки органических муниципальных отходов с получением полезных продуктов и энергии: компостирование и анаэробное сбраживание. Журнал экологии и промышленной безопасности, 2010. (3), 78-80.
22. Миронов, В.В., Бочкова, Е.А., Ганнесен, А.В., Вантеева, А.В., Русскова, Ю.И., Ножевникова, А.Н. Динамика биологических процессов при компостировании анаэробно обработанного осадка сточных вод. Микробиология, 2020. 89(4), 474-487.).
23. Leow, C.W., Van Fan, Y., Chua, L.S., Muhamad, I.I., Klemes, J.J., Lee, C.T. A review on application of microorganisms for organic waste management. Chemical Engineering Transactions, 2018. 63, 85-90.
24. Siles, J.A., García-Sánchez, M., Gómez-Brandón, M. Studying microbial communities through co-occurrence network analyses during processes of waste treatment and in organically amended soils: A Review. Microorganisms, 2021. 9(6), 1165.

Достижима ли глобальная цель «4 per mille» для пахотных почв европейской территории России?

Романенков В.А., Добровольская В.А., Мешалкина Ю.Л., Горбачева А.Ю.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
gafiatulina.valeriya@mail.ru*

Аннотация. *Оценена реализуемость глобальной цели «4 per mille» и ее национальной альтернативы «2 на 1000» для десяти областей Европейской территории России путем прогноза скорости секвестрации углерода в слое 0 - 30 см пахотными почвами по методике GSOCseq.*

Ключевые слова: *карта секвестрации углерода, углерод сберегающее земледелие.*

Введение

Пути смягчения последствий глобального изменения климата включают не только прямые методы извлечения парниковых газов из атмосферы, но и косвенные – поглощение углерода в ходе естественных процессов, в частности, секвестрацию углерода почвами. Последнюю принято разделять на два этапа: фотосинтез как перевод углерода атмосферы в растительную массу и трансформацию растительных остатков в органическое вещество почвы [3].

В 2015 году на 21-ой сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата было предложено задать целевой ориентир по объему увеличения запаса углерода почв для компенсации выбросов парниковых газов путем увеличения запаса почвенного углерода через его секвестрацию [4]. Этим ориентиром оказалась величина в 4 промилле [5]. Работой отечественных ученых было выражено сомнение в вероятности претворения в жизнь подобных амбиций на территории Российской Федерации [2]. Авторами была предложена цель «2 промилле» исходя из отношения национального показателя объемов годового выброса CO₂ в атмосферу (681 млн т С) к его запасу в двухметровом слое почв России (373 млрд т С).

Целью данной работы является оценка достижимости глобального (4 промилле) и национального (2 промилле) ориентира скорости секвестрации углерода в 0-30 см слое пахотных почв ряда областей Европейской территории России.

Объекты и методы

Расчеты производятся для верхнего слоя почв 0-30 см с использованием Ротамстедской модели динамики углерода *RothC*. Методика прогнозирования скорости секвестрации строится на основе рекомендаций к проекту ФАО ООН *GSOCseq* [1] и подразумевает разработку картографических данных, состоящих из нескольких слоев. Каждый слой соответствует одному из четырех сценариев, в рамках которых производится моделирование. Они отличаются технологией землепользования, применяемой в будущем: сценарий неизменного хозяйствования (CHX) и сценарии углеродсберегающих технологий (УТ1, УТ2 и УТ3, в которых предполагается увеличение поступающего органического вещества на 5, 10 и 20% от базового, соответственно).

Результатом моделирования является информация о скорости секвестрации углерода почвами (т С/га в год) на 2040 год в пикселе с разрешением 1 км. Оценка целевого значения 4 и 2 промилле рассчитаны как соответствующие доли от запаса углерода на 2020 год, что являлось промежуточным результатом моделирования.

В работе проведено моделирование для почв Новгородской, Тверской, Московской, Калужской, Тульской, Липецкой, Брянской, Воронежской, Белгородской и Ростовской областей. Они были разделены на части согласно почвенно-географическому районированию [3].

Результаты и обсуждение

Поглощение углерода в объемах почти 100 кг/га в год ожидается в среднем от зоны серых лесных почв лиственных лесов (табл. 1). Околонулевые значения и эмиссия углерода прогнозируется в зонах обыкновенных и южных черноземов степи и темно-каштановых и каштановых почв сухой степи.

Показательно, что обращение к углерод сберегающим технологиям будет способствовать увеличению количества закрепленного углерода.

Полученные при моделировании ожидаемые скорости секвестрации углерода почвами могут быть сопоставлены с расчетными необходимыми для достижения глобальной и национальной целей международной инициативы.

*1. Абсолютная скорость секвестрации углерода почвами (кг С/га в год)
для различных сценариев землепользования*

Зона почвенно-географического районирования	Сценарии			
	CHX	УТ1	УТ2	УТ3
Дерново-подзолистых почв южной тайги	65,6	83,2	98,3	128,3
Серых лесных почв лиственных лесов	99,2	132,8	164,7	227,5
Оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи	59,7	106,1	149,4	235,7
Обыкновенных и южных черноземов степи	-7,8	29,7	64,2	134,3
Темно-каштановых и каштановых почв сухой степи	-1,5	32,4	57,7	111,2

На графике (рис. 1) гистограммой обозначены скорости секвестрации для каждой зоны почвенно-географического районирования (от А до Д). Интенсивность синего цвета иллюстрирует интенсивность углерод сберегающих практик: от голубого (CHX) до синего (УТ3). Пунктиром показаны требуемые для выполнения инициативы скорости секвестрации.

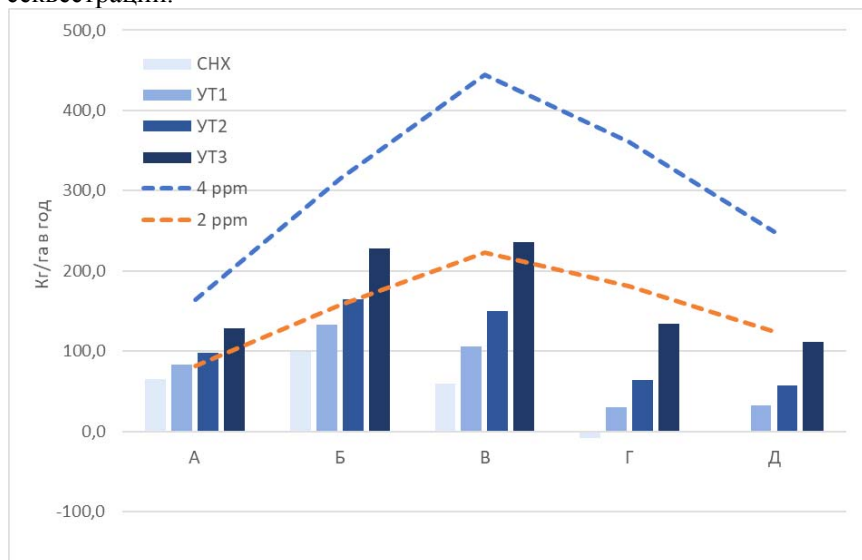


Рисунок 1. Прогноз абсолютных скоростей секвестрации и уровни 4 и 2 промилле, где: А – зона дерново-подзолистых почв южной тайги; Б – зона серых лесных почв лиственных лесов; В – зона оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи; Г – зона обыкновенных и южных черноземов степи; Д – темно-каштановых и каштановых почв сухой степи.

Показано, что глобальная цель «4 промилле» не может быть достигнута на территории рассмотренных областей Европейской территории России вне зависимости от интенсивности технологий сбережения углерода. Цель «2 промилле» осуществима для зоны дерново-подзолистых почв южной тайги уже при увеличении поступления органических остатков на 5%, для зоны серых лесных почв лиственных лесов – на 10%, для зоны оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи – на 20%. Для остальных областей эта цель недостижима.

Выводы

Наибольшей скоростью закрепления углерода до 2040 года будут обладать почвы зоны серых лесных почв лиственных лесов. Применение углерод сберегающих технологий эффективно для всех рассмотренных территорий и ведет к увеличению поглощения углерода даже для областей-эмитентов углерода. Глобальная цель «4 промилле» не может быть достигнута почвами Европейской территории России. Адаптированная национальная цель «2 промилле» осуществима дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами при различной интенсивности углерод сберегающих технологий.

Благодарности и источники финансирования

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Литература

1. Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq) / G. Peralta [et al.]. – Rome: FAO, 2020. – 34 p.
2. Иванов, А.Л. Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России / А.Л. Иванов, В.С. Столбовой // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2019. – Вып. 98. – С. 185-202. – DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202

3. Урусевская И. С. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000: пояснительный текст и легенда к карте: учебное пособие / И. С. Урусевская, И. О. Алябина, С. А. Шоба. – М.: МАКС Пресс, 2020. – 100 с.
4. Maximising climate mitigation potential by carbon and radiative agricultural land management with cover crops / E. Lugato [et al.] // Environmental Research Letters. – 2020. – Vol. 15. №. 9. DOI: 10.1088/1748-9326/aba137
5. Soil carbon 4 per mille / B. Minasny [et al.] // Geoderma. 2017. – № 292. – P. 59–86. – DOI: 10.1016/j.geoderma2017.01.002

Влияние минеральных форм азота на минерализацию растительных остатков кукурузы

Квиткина А.К.

*Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения ФИЦ ПНЦБИ РАН*

142290, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2

E-mail:aqvia@mail.ru

Введение

Минерализация растительного опада – ключевой процесс круговорота углерода, определяющий скорость эмиссии углекислого газа и поступление питательных элементов в почву. Доступные минеральные формы азота в почве определяют не только закрепление углерода в биомассе растений, но и процессы разложения этой биомассы. Соотношение углерода к азоту (C/N) может обуславливать как скорость, так и характер процесса разложения, смещая его в сторону минерализации или гумификации.

Однако, в настоящее время существует проблема оценки влияния азота на процессы разложения растительных остатков и органического вещества почв (ПОВ). Согласно литературным данным, оценки влияния азота на процессы разложения даются прямо противоположные. Одни исследования подтверждают усиление минерализации органического вещества при увеличении концентрации азота и, соответственно, при снижении C/N. По другим оценкам внесение азота и снижение C/N приводит к подавлению минерализации и усилению гумификации органического вещества. Механизмы подавления минерализации могут быть биологическими (ингибирование ферментов) или химическими (комплексообразование). Также есть экспериментальные данные, показывающие отсутствие влияния концентрации доступного азота на скорости разложения ПОВ. Формы азота, входящие в состав опада, а также находящиеся в почве, могут оказывать разнонаправленное влияние на разложение опада и на формирование почвенного органического вещества.

Целью нашей работы было сравнение воздействия минеральных форм азота, 1) поступающих с удобрениями в процессе разложения и 2) уже накопленных в растительной ткани, на разложение расти-

тельных остатков. В задачи исследования входили: выращивание кукурузы с разным накоплением азота и как следствие с разным соотношением C/N в листьях, стеблях, корнях, сравнительный анализ влияния органического и минерального азота на скорость разложения растительных остатков.

Объекты и методы исследований

Вегетационный эксперимент. Выращивание кукурузы проводили на минеральном субстрате с различным содержанием доступных форм азота в тепличных условиях. Азот вносили в виде нитрата аммония в промытый речной песок в количестве нормы (одна доза азота), а также избытка азота (2, 4, 8 доз) и недостатка азота (1/2, 1/3, 1/5, 1/10 от нормы и без добавления азота). За норму принималось то количество азота, которое требуется растению согласно прописи питательной смеси Прянишникова (Практикум по агрохимии, 2001). Все питательные компоненты вносились только один раз, полив производился дистиллированной водой. Растения были собраны через 2 месяца после выращивания на стадии пятого листа.

Инкубационный эксперимент. В инкубационном эксперименте растительные остатки кукурузы были распределены по группам C/N и тщательно перемешаны. Различные типы опада инкубировались в смеси песка с иллитом при 22°C (влажность 80% ППВ, влагоёмкость растительных остатков 300%). Исследовали 1) влияние органического азота, уже содержащегося в растительном опаде, 2) добавляли минеральный азот в форме нитрата аммония и изучали его влияние на минерализацию в процессе разложения.

Для изучения влияния органического азота на минерализацию и гумификацию растительных остатков были заложены на инкубацию корни кукурузы (C/N от 66 до 4,5), зеленые листья (C/N 34, 22) и желтые листья (C/N 62, 47). Для изучения влияния внесения минерального азота к желтым листьям кукурузы с C/N 62 был добавлен азот в форме нитрата аммония до естественных концентраций (C/N 62, 47, 34, 22, 10).

Скорость минерализации растительных остатков кукурузы определяли с помощью биокинетического метода по кумулятивным потерям углерода в процессе дыхания микроорганизмов. Эксперименты были заложены в пяти повторностях. Газовые пробы отбирали на 1, 3, 5, 7, 10 сут, далее еженедельно или реже в течение 365 сут эксперимента, после отбора флаконы проветривали. Интенсивность дыхания вычисляли по накоплению углекислого газа в интервалах между

отборами газовых проб. Минерализацию органического вещества (Смин) определяли как кумулятивную эмиссию углекислого газа (C-CO₂), рассчитанную в процентах от внесённого углерода (C₀):

$$\text{Смин} = \text{C-CO}_2/\text{C}_0 \cdot 100\%$$

Содержание органического углерода (Сорг) и общего азота (Nобщ) в растительных остатках определяли с помощью элементного NCNS-анализатора Vario EL III («Elementar», Германия).

Обсуждение результатов

В итоге вегетационного опыта, содержание минеральных форм азота в среде, на которой выращивалась кукуруза, повлияло как на общую продуктивность, так и на содержание азота в биомассе растений. При норме внесения азота вес сухой биомассы одного растения составил 3,9 г. Избыток азота приводил к увеличению биомассы максимум до 4,2 г, а недостаток к снижению минимум до 0,8 г. Со снижением дозы азота происходило снижение продуктивности. Однако при 8-кратной дозе азота наблюдалось снижение продуктивности по сравнению с 4-кратной дозой, так как избыток минеральных удобрений приводил к подкислению и токсикации нитратами.

В результате эксперимента было установлено, что при разных дозах азотного питания, содержание углерода в растениях во всех вариантах было одинаковым, а содержание азота отличалось. Поэтому отношение углерода к азоту (C/N) в растениях будет являться хорошим показателем азотного статуса почвы и растений, наравне с процентным содержанием азота и углерода.

В вариантах с внесением азота больше нормы наблюдалось накопление азота в форме нитратов, вплоть до превышающих ПДК концентраций. Максимальные концентрации азота обнаружены в молодых стеблях (вплоть до 7,9%) и молодых корнях кукурузы (до 6,6%) при максимальном уровне азотного питания. Отношение углерода к азоту при этом были значительно ниже естественных C/N (диапазон C/N от 20 до 80): C/N 3,7 и C/N 4,5 для стеблей и корней соответственно.

При внесении избытка азотных удобрений листья кукурузы аккумулировали меньше азота, чем стебли и корни. При этом было обнаружено, что для каждого компартмента растения существует минимальная концентрация азота, ниже которой, по-видимому, наступает физиологический предел существования растения. Поэтому при снижении дозы удобрений ниже половины нормы снижения концентрации азота в растениях уже не происходило. Кроме варианта с

отсутствием внесения удобрений, где наблюдалось изменение габитуса растений, угнетённое состояние, пожелтение и покраснение листьев на фоне значительного снижения содержания азота в корнях. Однако на повышение минерального питания с половины дозы до полной дозы и выше растения отвечали значительным увеличением концентрации азота в биомассе, что особенно характерно для стеблей и корней.

Для каждого уровня удобрения рассчитывался C/N в корнях, стеблях, зелёных и жёлтых (сухих) листьях. Отношение содержания углерода к азоту в растительных остатках изменялось от 3,8 до 66,4. Минимум C/N отмечен в стеблях для всех вариантов удобрения, что говорит о преимущественном накоплении азота в форме нитратов в стеблях. Максимум C/N отмечен в желтых листьях для всех вариантов, кроме отсутствия удобрений, где максимальный C/N 66 наблюдался в корнях. При норме внесения азота значения C/N находились в интервале от 20,5 до 41,8: C/N 40,0 для корней, C/N 20,6 для стеблей, C/N 41,8 для жёлтых и C/N 20,5 для зеленых листьев.

Чем больше была доза удобрений, тем меньше C/N в растениях, с уменьшением дозы удобрений C/N увеличивался, то есть значение C/N характеризует азотный статус растений. Азот в тканях растений накапливался в основном в виде нитратов. По мере снижения C/N в листьях кукурузы в ряду C/N 62-22 отношение органической формы азота к минеральной в них уменьшалось от 12:1 к 1:1. В листьях кукурузы с C/N 22 содержались равные количества органического и минерального азота. Концентрация нитратов в листьях кукурузы выросла с 0,04% до 0,94%, аммонийного азота с 0,008% до 0,033%, органического азота с 0,572% до 0,982%.

Далее приведены данные для листьев кукурузы с разным накоплением азота внутри растительных тканей (вариант – органический азот, C/N 22, 34, 47, 62) и для листьев кукурузы с C/N 62, к которым был добавлен минеральный азот в процессе разложения (вариант – минеральный азот, C/N 10, 22, 34, 47).

По результатам эксперимента было установлено, что внесение азота ускоряет минерализацию растительных остатков. При этом минеральная и органическая формы азота действуют в одинаковом направлении, но эффект от минерального азота сильнее. Максимальная скорость разложения наблюдается в первые 8 суток, в этот же период различия между скоростями минерализации под воздействием органического и минерального азота максимальны: они отличаются в 1,7-2 раза. За первый месяц разлагается от 15% биомассы при C/N 62 и до 30% биомассы листьев при C/N 22. При добавлении к C/N 62 минеральных форм азота разлагалось 40% при C/N 47 и 49% при C/N 22.

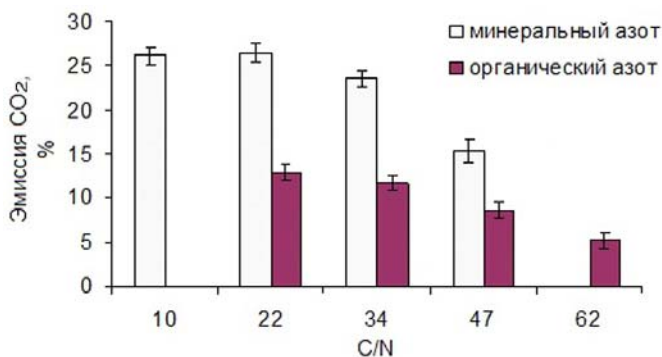


Рисунок. Влияние минерального и органического азота на разложение желтых листьев кукурузы на 8 сутки инкубации.

За год эксперимента разлагается от 35% до 80% биомассы листьев кукурузы. Листья с большим C/N разлагаются медленнее, чем с малым C/N. Листья, к которым добавили минеральный азот, разлагаются быстрее, чем листья, в которых азот содержится в органической форме в тех же количествах.

Выводы

Максимальное количество азота накапливалось при внесении избытка азотных удобрений в стеблях (до 7,9%) и корнях (до 6,6%). Минимальное количество азота наблюдалось при выращивании в условиях недостатка азота - в листьях кукурузы (до 0,61%) и корнях кукурузы (до 0,38%).

Роль экзогенного азота, поступающего с удобрениями, в стимулировании разложения растительных остатков значительно больше по сравнению с эндогенным азотом, содержащимся в растительных тканях. Скорость разложения растительного опада зависела не только от концентрации, но и от источника (внутреннего или внешнего) поступления доступных форм азота.

Внесение минеральных форм азота в процессе разложения увеличивало скорость разложения в 1,7-2 раза по сравнению с постепенным поступлением органического азота, заключенного в тканях растений.

Соотношение углерода к азоту в растительных остатках характеризует их способность к разложению, а также позволяет разработать в будущем практические приемы по регулированию динамики разложения растительного материала в почве с заданными периодами высвобождения элементов питания.

Литература

1. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве. Агрохимия. 2006. № 7. С. 63-81.
2. Квиткина А.К., Ларионова А.А., Быховец С.С. Влияние экзогенного и эндогенного азота на скорость минерализации растительных остатков кукурузы. Агрохимия. 2014. № 9, с. 48-57.

Изменчивость подвижного фосфора в почвах

Кравцова Н.Е, Хрустьева Ю.А.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Пространственное изменение агрохимических параметров агрозёмов обусловлено неоднородностью морфогенетических свойств почвы и неравномерностью внесения удобрений. Исследование пространственной неоднородности агрохимических свойств является актуальной проблемой, они обладают высокой вариабельностью показателей, а антропогенное воздействие увеличивает их еще больше.

Целью исследования было изучить неоднородность содержания подвижного фосфора в почвах.

Объектом исследования стали почвы Ростовской области: чернозёмы южные, чернозёмы обыкновенные, каштановые почвы, лугово-каштановые почвы, лугово-черноземные почвы, темно-каштановые почвы (Безуглова, 2008). Общее количество наблюдений над изучаемым признаком составило 8084 значений. На примере почв Сальского района выполнялась работа по изучению пространственной неоднородности содержания подвижного фосфора, определяемого методом Мачигина. Проведено изучение изменения содержания подвижных форм фосфора в почвах под влиянием длительного воздействия как природных факторов (средняя температура воздуха и среднегодовое количество осадков), так и антропогенных.

Оценка изменчивости содержания подвижного фосфора в почвах проводилась с использованием программы STATISTICA 13.3. Использовались методы вариационной статистики подсчета среднего арифметического значения, стандартного отклонения (s), ошибки средней арифметической величины (m), дисперсии (S^2), коэффициента вариации ($V, \%$), доверительного интервала. Определяли структурные средние: моду (Mo), медиану (Me), квартили (Q), размах (d). Так же были рассчитаны коэффициенты ассиметрии (α) и эксцесса (ϵx). Использованы методы анализа описательной статистики, дисперсионный анализ и геостатистические методы (программа QGIS 13.16).

Для описания изменчивости содержания подвижного фосфора было проанализировано 8084 наблюдений. Исследования показали, что варьирование подвижного фосфора в черноземах обыкновенных Сальского района Ростовской области заметно отличается от нормального распределения.

*1. Описательные статистики подвижного фосфора
в чернозёме обыкновенном, мг/кг*

Год обследования	N		$\pm mv$	S^2	S	V, %
1974	3476	23,6	$\pm 0,47$	97,9	9,9	42,3
2013	3968	28,0	$\pm 0,54$	150,9	12,0	44,1

Отмечена отрицательная асимметрия относительно центра распределения. Наибольшее количество данных находилось в диапазоне 10-40 мг/кг почвы (рисунки 1, 2) (частота встречаемости признака – 3062 значений).

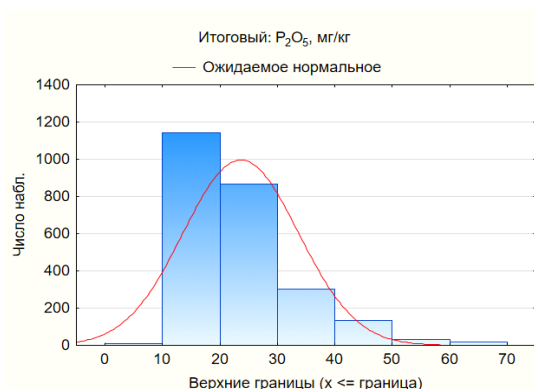


Рисунок 1. Гистограмма содержания подвижного фосфора (1974 г.)

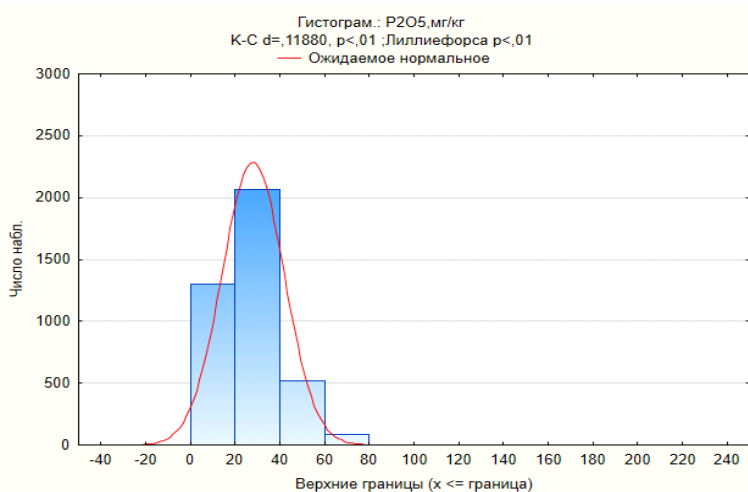


Рисунок 2. Гистограмма содержания подвижного фосфора (2013 г.)

Изучена изменчивость содержания подвижного фосфора в преобладающих типах почв на исследуемой территории. Дисперсионный анализ показал, что различие между группами данных достоверны, тип почв оказывает достоверное влияние на содержание подвижного фосфора (Мешалкина, Самсонова, 2008). Наибольшее содержание подвижного фосфора отмечено в лугово-каштановых почвах и составляет - 37,5 мг/кг по Мачигину попадает в категорию повышенное содержания. На втором месте каштановые и лугово-черноземные почвы, содержание P_2O_5 - 35 мг/кг, что так же попадает в категорию повышенного содержания (рис. 3). Вероятно, это связано с тем, что лугово-каштановые и лугово-черноземные почвы формируются под луговой и разнотравно-кустарничково-злаковой растительностью при длительном поверхностном или грунтовом увлажнении. Для этих почв характерно обильное количество опада. С точки зрения органического вещества, эти почвы богаты элементами питания, так как фосфор в виде органических соединений входит в состав гумуса и разлагающихся остатков животных, растений и микроорганизмов, в этих почвах наблюдается его заметное увеличение.

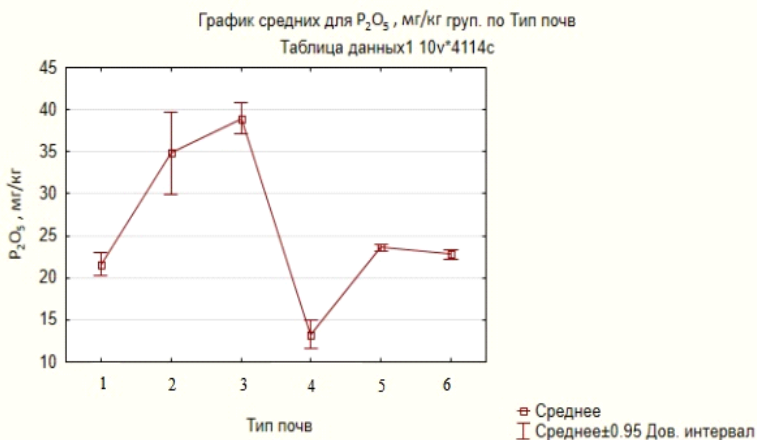


Рисунок 3. График средних для подвижного фосфора

- *(1) - Лугово-черноземные почвы; (2) - Лугово-каштановые почвы;
(3) - Каштановые почвы; (4) - Темно-каштановые почвы;
(5) - Чернозёмы обыкновенные; (6) - Чернозёмы южные.

Чернозёмы обыкновенные и чернозёмы южные имели среднюю степень обеспеченности данным показателем (рис. 3). Каштановые и темно-каштановые почвы характеризуются низким содержанием доступных для растений фосфатов (13,3 мг/кг).

Для изучения пространственного варьирования содержания подвижного фосфора с использованием программы QGIS 13.16 построена картосхема (рис. 3) обеспеченности фосфором Сальского района. На полученной картограмме видны территории с более высокими показателями подвижного фосфора (16 мг/кг и более 60 мг/кг), приуроченные к северо-западной части района.

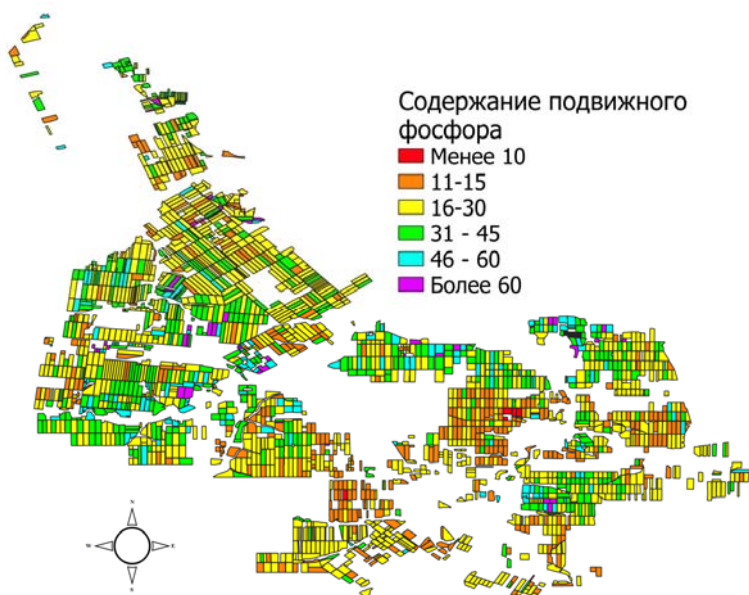


Рисунок 4. Картосхема обеспеченности чернозёмов обыкновенных Сальского района подвижным фосфором

На юго-востоке района чаще встречаются почвы с низкой обеспеченностью подвижным фосфором. Возможно, это объясняется большей сельскохозяйственной освоенностью территории.

Таким образом, изученные почвы Ростовской области можно охарактеризовать средним содержанием подвижного фосфора. В течение 39 лет отмечена тенденция к увеличению содержания подвижных форм фосфора в почвах. Что вероятно, обусловлено генетическими свойствами изучаемых почв и агрохимической нагрузкой на агроценоз (Афонасьев и др., 2011). Фосфор, внесенный вместе с удобрениями и освобождаемый при выветривании первичных фосфорсодержащих минералов, взаимодействует с коллоидными частицами почвы и способен накапливаться в почве.

Литература

1. Афонасьев Р.А, Мерзлая Г.Е, Динамика подвижного фосфора в различных почвах. Научная статья, 2011. - 16-18 с.
2. Безуглова О.С., Хырхырова Почвы Ростовской области: учебное пособие М. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. – 61-172 с.
3. Мешалкина Ю.Л., Самсонов В.П. Математическая статистика в почвоведении: Практикум.- М.: МАКС, 2008. - 11 с.

Содержание микробной биомассы в черноземных почвах при разной степени антропогенного воздействия

Нагорная О.В.

*ФГБОУ ВО «Курский государственный
аграрный университет имени И.И. Иванова», Курск,
e-mail: nagornayaov@yandex.ru*

Введение

Одним из важнейших условий почвообразования и тем звеном, которое во многом обеспечивает экологическое равновесие любой почвенной экосистемы, является деятельность микроорганизмов [6]. При введении новых технологических приемов возделывания культур, средств защиты или стимуляции растений и других антропогенных воздействиях на почву анализ показателей жизнедеятельности микроорганизмов становится особенно важным. Именно он дает возможность установить направленность и уровень изменения экологического состояния почвы при разной степени антропогенного воздействия, а также позволяет выявить последствия и определить новые пути решения этой проблемы [4, 5, 7].

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в агроландшафте на склоне северной экспозиции. Объектом исследования был типичный тяжело-суглинистый чернозем, подвергшийся разной степени антропогенного воздействия: под лесополосой (24-х летняя), залежью (20-летняя), пашня: (зернопаропропашной севооборот (ЗПП) и бессменный пар (20-летний). Для определения содержания микробной биомассы (МБ) были заложены почвенные полужамы на глубину 0-50 см.

Определение содержания углерода микробной биомассы проводили в свежих почвенных образцах регидрационным методом [1] с использованием для расчёта $K_s = 0,25$, а выделение CO_2 из почвы – по методу Л.О. Карпачевского [2].

Результаты исследований

Проведенные исследования показали, что наибольшее содержание углерода МБ в слое 0 - 10 см чернозема типичного было под лесополосой и на залежи и составило 1240 мг С/кг почвы (табл. 1).

*1. Содержание микробной биомассы в черноземных почвах
при разной степени антропогенного воздействия*

Угодье	Глубина взятия образца, см	Углерод микробный биомассы, мг/кг почвы	Содержание НОВ, %	Количество МБ, приходящейся на 1 г НОВ
Лесополоса	0-10	1240	1,22	102
	0-20	1180	0,73	295
	20-50	1013	0,14	849
Залежь	0-10	1240	2,01	62
	0-20	1080	1,12	231
	20-50	680	0,07	1052
Пашня-ячень	0-10	876	0,22	398
	0-20	808	0,23	353
	20-50	643	0,04	1629
Бессмен- ный пар	0-10	600	0,025	2400
	0-20	580	содержание незначительное	
	20-50	493		

На пашне в ЗПП севообороте и на бессменном пару МБ составила 876 и 600 мг С/кг почвы. Следовательно, в агроэкосистеме, испытывающей максимальные антропогенные нагрузки, содержание углерода МБ в почве снизилось в два раза по сравнению с экосистемами с минимальной антропогенной нагрузкой. К последним относятся лесополоса водораздельная, изначально антропогенно созданная, но в дальнейшем естественно развивающаяся, и залежь, испытывающая минимальные антропогенные нагрузки. В почве под залежью за 20 лет накопились запасы органического вещества, достигающие уровня таковых в естественных экосистемах [3].

Содержание углерода МБ в почве снижается вниз по профилю. В пахотном слое 0 - 20 см оно составляет от 580 до 1180 мг С/кг почвы в зависимости от объекта исследования, а на глубине 20 - 50 см его содержание падает практически в два раза. Одной из основных причин этого является снижение с глубиной органического вещества, служащего питательным субстратом для микроорганизмов. Следствием является уменьшение С биомассы микроорганизмов до 1013, 680, 643, 693 мг С/кг почвы соответственно на изучаемых участках.

Наряду с биомассой почвенных микроорганизмов нами было проанализировано содержание негумифицированного органического вещества (НОВ) в почве и получены следующие результаты. Наибольшее содержание НОВ наблюдалось на залежи в слоях 0-10 см и 0-20 см, соответственно 2,01% и 1,12% НОВ; меньшее количество НОВ, по сравнению с залежью, в лесополосе. Это, вероятно, связано с большим разнообразием жизненных форм растений (разнотравье, кустарники, деревья), поэтому в почве видовой состав микроорганизмов шире и процесс разложения органического вещества будет интенсивнее. На пашне в ЗПП севообороте количество НОВ меньше в 2,5 раза (табл. 1). Эти данные характеризуют снижение органического вещества в почве, связанного с сезонным изъятием наземной фитомассы. В агроэкосистеме с максимальным антропогенным воздействием содержание НОВ значительно падает в слое 0 - 10 см (0,025%), а в более глубоких слоях неопределяемо.

Нами было также рассчитано количество МБ, приходящейся на 1 г НОВ, и определена зависимость его от питательной среды. Установлено, что при недостатке пищевых ресурсов доля микроорганизмов, приходящихся на его единицу увеличивается. И, вероятно, они будут испытывать недостаток в пище. Наибольший показатель выявлен на пашне в бессменном пару – 2400, в ЗПП севообороте – 398, под лесополосой – 102 и наименьший – 62 на залежи. Таким образом, на залежи складываются более благоприятные условия для питания микроорганизмов. Следовательно, чем больше этот показатель, тем меньше обеспеченность микроорганизмов легкодоступным органическим веществом. Установленный показатель можно использовать как индикатор экологического состояния почвы для микроорганизмов.

Выводы

1. Выявлено, что антропогенное воздействие на почвенную экосистему приводит к снижению в ней содержания углерода МБ и НОВ, следствием чего является нарушение или изменение экологического состояния почвы.

2. Отмечено, что меньше всего углерода МБ содержалось в почве бессменного пара, максимально подвергшегося антропогенному воздействию. При снижении степени антропогенного воздействия увеличивается содержание углерода МБ в почве, примером является залежь.

3. Установлено, что при недостатке пищевых ресурсов доля микроорганизмов, приходящихся на единицу НОВ увеличивается.

Наибольший дефицит в пищевых ресурсах выявлен на пашне в бес-
сменном пару, а наименьший на залежи. Данный показатель можно
использовать как индикатор экологического состояния почвы для
микроорганизмов.

Для оптимизации экологической ситуации на земле необходимо
контролировать последствия антропогенной деятельности и про-
гнозировать их.

Литература

1. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.А. Регидрационный метод определения микробной биомассы в почве // Почвоведение – 1987. № 4 – С. 64-71
2. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. – 312 с.
3. Масютенко Н.П., Нагорная О.В., Лукьянчикова О.В. Влияние удобрений, типа севооборота, экспозиции склона и вида угодий на динамику содержания микробной биомассы в черноземе типичном // Агрохимия. 2009. №5. С.49-54.
4. Семькин В.А., Пигорев И. Я., Никитина О.В. Баланс элементов питания и гумуса в землях сельскохозяйственного назначения Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 6-11.
5. Стифеев А.И., Бессонова Е.А., Никитина О.В., Лукьянов В.А., Судженко Е.Н. Состояние почв Российской Федерации и основные направления стабилизации и повышения их плодородия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №1. С. 49-52/
6. Стифеев А.И., Лазарев В.И., Никитина О.В. Роль микроорганизмов в круговороте веществ и почвенном плодородии Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 9. С. 22-29.
7. Nikitina O.V., Nagornaya O.V., Dolgoplova N.V. Research on the ecologization of agriculture: improvement of crop rotations and biological soil fertility reproduction systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 022005. DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022005.

Изучение усвояемости P_2O_5 под действием азотнокислых солей мочевины Жондорского района Бухарской области

Холикова Г.К., Ганиев Б.Ш.

Бухарский государственный университет

При длительном использовании пахотной земли в сельском хозяйстве с нерациональным применением минеральных удобрений общее содержание питательных элементов (P_2O_5 , CaO, MgO и др.) в почве превышает норму, но их эффективность становится очень низкой, т.е. их усвояемость понижена до минимума. Наряду с этим, при нарушенных агротехнических мероприятий, севооборота, год за годом в почве происходит аккумулярование малорастворимых соединений ионов тяжелых металлов разной категории, которые достаточно не подвергаются разложению при умеренной кислотности или пониженной активности гуминовых составляющих. В итоге, несмотря на достаточный (а иногда сверх нормальный) расход минеральных удобрений, урожайность и плодородие пахотных земель остаются низкими, результаты экономически убыточными, продукция экологически не соответствует стандартам качества, а геомеханические и гидромелиоративные характеристики почвы доходят до критических уровней [1, 2].

По совокупности всего отмеченного возникает, скорее всего давно существует, необходимость создать условия и предпринимать меры, способствующие повышению эффективности вносимого или уже избыточно внесенного (накопившегося из-за низкой усвояемости питательных элементов) удобрения в почву. Одним из таких способов является обработка почвы с достаточным количеством органических удобрений, однако, возможности этого ограничены из-за их недостаточности в масштабе нашей Республики Узбекистан.

На наш взгляд аналогичные свойства могут проявлять соли мочевины с азотной и фосфорными кислотами т.е. нитраты и фосфаты мочевины различного состава (в 1:1, 1:2 и 1:3 молярных соотношениях) [2]. С этой целью нами синтезированы и изучены некоторые агрохимические характеристики этих соединений, результаты которых изложены в данном сообщении.

В целях изучения влияния нитратных солей мочевины на усвояемость P_2O_5 , как основного питательного компонента азотных удобрений в почве проведены лабораторные опыты предвари-

тельно поискового характера. Для эксперимента был выбран образец почвы Жондорского района Бухарской области. Опыты проведены согласно методике [3]. Из данных экспериментов видно, что образец почвы, обработанный дистиллированной водой, который использован в качестве контрольного, характеризуется общим содержанием P_2O_5 169,7% мг/л и максимально низкой усвояемостью P_2O_5 518,3 по Трилона-Б и 411,06 мг/л по 2%-й лимонной кислоте.

После обработки с растворами азотнокислых солей мочевины показатели по обоим видам усвояемости P_2O_5 изученного образца почвы имеют не последовательный характер. Из данных таблицы 1 видно, что из нитратных солей наибольшее влияние на повышение усвояемости P_2O_5 по Тр-Б в 22 раз, по сравнению с контрольным образцом почвы, оказывает раствор динитрата мочевины ($pH = 5$), а остальные составы 1:1 и 1:3 больше 25 раза обладают таким свойством. Низкое значение в случае моонитрата мочевины можно объяснить меньшим в 2 раза содержанием азотной кислоты, а для тринитрата мочевины такой вывод невозможно делать, т.е. в обнаруженном факте имеет влияние еще другой – пока неизвестный фактор.

*1. Результаты изучения усвояемости P_2O_5
под действием азотно- и фосфорнокислых солей мочевины*

№ п/п	Изученные образцы	P_2O_5 общий, мг/л	P_2O_5 усв по Тр-Б, мг/л	P_2O_5 усв по Лим.кис, мг/л	P_2O_5 водн. мг/л
1	Почва + H_2O дис	169,7 (8,54)	518,3 (26,36)	0,787	19,66
2	Почва + МНМ	125,1 (6,36)	500,4 (25,45)	1,061	160,8
3	Почва + ДНМ	89,36 (4,54)	500,4 (25,45)	8,28	80,42
4	Почва + ТНМ	58,08 (2,95)	428,9 (21,81)	0,959	125,1

Литература

1. Нурахметов Н.Н., Беремжанов Б.А., Утина З.Е. Синтез и некоторые свойства солей карбамида и тиокарбамида с минеральными кислотами. В сб.: Химия и хим. технология. Алма-Ата, 1971, вып. 12, с. 14-17.
2. Mardonov U. M. et al. Synthesis and study of the agrochemical properties of urea salts with nitric and orthophosphoric acid //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 389. – С. 03005.
3. ГОСТ 20851.2-75. Удобрения минеральные. Методы определения фосфатов. – М.: ИПК Издательство стандартов (Дата актуализации описания: 01.01.2021), 1997. – 37 с.



3. УСТОЙЧИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ И ВЕДЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



Воспроизводство плодородия почвы и эффективность мелиоративного освоения закустаренной залежи

Иванов А.И.

*Северо-Западный центр междисциплинарных исследований
проблем продовольственного обеспечения –
ОСП ФГБУН Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр РАН*

Санкт-Петербург, ivanovai2009@yandex.ru

*В серии полевых экспериментов установлены параметры
воздействия продуктов переработки ДКР и местных
мелиорантов на уровень эффективного плодородия почвы,
продуктивность однолетних и многолетних трав и
экономическую эффективность освоения закустаренной залежи.
Состояние. Максимальная оптимизация наиболее важных
агропроизводственных показателей почвы достигнута при
совместном применении биоугля с очень высокими дозами
комплекса мелиорантов, когда доля агрономически ценных и
водопрочных агрегатов увеличилась на 31 и 184% и достигла 80,7
и 59,7% соответственно. Через шесть лет после его применения
уровень прибавки урожайности трав достиг 8,94 т/га или 52%.
Каждая тонна внесенного сыромолотого доломита приносит
2058 руб., а птичьего помета – 1080 руб. дополнительного
чистого дохода.*

Ключевые слова: *закустаренная залежь, дерново-подзолистая
почва, древесно-кустарниковая растительность, комплекс
мелиорантов, биоуголь, зола.*

Ухудшение агромелиоративного состояния сельскохозяйственных угодий и деградация эффективного плодородия их почв – один из наиболее значимых рисков для успешной реализации Доктрины продовольственной безопасности в пределах Нечернозёмной зоны РФ [1-3]. В условиях, когда степень зарастания древесно-кустарниковой растительностью даже пашни в части регионов уже превысила 50%, среднегодовые темпы культуртехнического освоения таких земель должны достигать не менее 0,3-0,5 млн. га [3-5]. При этом ключевыми аспектами эффективности и экологической безопасности столь масштабных агротехнологических мероприятий выступают воспроиз-

водство почвенного плодородия и ограничение эмиссии парниковых газов, направленное на решение задач стратегии низкоуглеродного развития страны [6, 7].

Как показали ранее выполненные исследования [8], для достижения значимого эффекта здесь требуется сочетание культур-технической мелиорации с интенсивным применением мелиорантов и удобрений, способных существенно оптимизировать комплекс наиболее важных агропроизводственных свойств почвы. Объективная же оценка таких агротехнологических мероприятий требует длительных исследований, которые были выполнены в период 2017-2022 гг. на базе ООО «София» Тосненского района Ленинградской области.

Методической основой исследования выступали производственный эксперимент и мелкоделяночный стационарный полевой опыт в системе травяного севооборота «однолетние травы + многолетние травы – многолетние травы 1-5 года пользования». Опыт заложен в пределах осваиваемого закустаренного на 55-85% угодья со средним запасом надземной биомассы ДКР 104 т/га, используемого ранее в 80-90-е годы в качестве долголетнего культурного пастбища.

Почва опыта дерново-подзолистая глееватая тяжелосуглинистая, характеризующаяся следующим комплексом показателей: физическая глина – 42,6%, средняя плотность – 1,42 г/см³, пористость – 44,2%, наименьшая влагоёмкость – 32,6%, рН_{KCl} – 4,27, гидролитическая кислотность – 8,60 сМоль(экв)/кг, сумма обменных оснований – 11,30 сМоль(экв)/кг, степень насыщенности основаниями – 57%, органическое вещество – 3,87 %, подвижные соединения фосфора и калия 54 и 123 мг/кг соответственно. Двухфакторная схема этого опыта включала в себя 5 вариантов по фактору А (продукты переработки ДКР): контроль – без ДКР; щепа ДКР, 100 т/га; сечка ДКР, 100 т/га; биоуголь, 10 т/га; зола, 1,05 т/га. По фактору Б (комплекс местных мелиорантов) в нем изучались 5 различных технологических вариантов послойного применения высоких и очень высоких (20 и 40 т/га) доз птичьего помёта (ПП) в сочетании с 10 т/га вносимого послойно или под вспашку сыромолотого доломита (ДСМ) и калийным удобрением (70 и 140 кг/га К₂O), применяемым под предпосевную культивацию [4]. В статье по данному фактору будут обсуждаться усредненные по вариантам технологий применения данные с дозировкой ПП в 20 т/га (КМ-1) и 40 т/га (КМ-2). Размещение вариантов в опыте систематическое в 3-х кратной повторности при общей площади делянки в опыте 3,3 м².

Пахотный контур производственного опыта по агромелиоративному состоянию был представлен зарастающей в слабой степени (3 -

4 года) в прилесной части залежью со среднекультуренной дерново-слабоподзолистой глееватой почвой. Она характеризовалась такими параметрами: pH_{KCl} – 5,47, H_r – 4,85 смоль(экв)/кг, S – 8,70 смоль(экв)/кг, V – 64%, P_2O_5 подв. – 111 мг/кг, K_2O подв. – 88 мг/кг, органическое вещество – 5,94%. В нем проводилась оценка агроэкономической эффективности применения традиционных местных мелиорантов (сыромолотого доломита и птичьего помёта) при освоении закустаренной залежи.

До проведения культуртехнических работ структурное состояние аккумулятивного горизонта почвы закустаренной залежи в пределах опыта имело вполне благоприятные параметры (доля агрономически ценной фракции (АЦФ) агрегатов – 63,4%, коэффициент структурности (Кстр.) – 1,73 ед.) при неудовлетворительной устойчивости к разрушающему действию воды (доля водопрочных агрегатов (ВПА) – 24,9%, коэффициент водопрочности (Квп.) – 0,39 ед.). Основными факторами структурообразования здесь выступали высокий относительно пахотных почв приход органического вещества с отмирающей растительной биомассой и, как следствие, повышенная обеспеченность гумусом в сочетании с механическим действием корневых систем многолетних трав. В негативном влиянии на устойчивость агрегатов к внешним воздействиям доминировали факторы постепенного подкисления почвы и утраты оснований, способствующие пептизации коллоидов, а также необычно низкая для данной разновидности почв доля илистой фракции в её гранулометрическом составе (всего 5,65%). В таких физико-химических и агрофизических условиях проведение культуртехнических работ во всех вариантах механического воздействия на гумусовый горизонт почвы вызвало разрушение структурных компонентов, сократив в среднем долю агрономически ценных до 57,4%, водопрочных агрегатов – до 17,8%, коэффициенты структурности и водопрочности – до 1,35 и 0,31% соответственно. В относительном исчислении важнейшие показатели агрегатного состояния почвы при культуртехническом воздействии утратили от 9 до 29% от исходного значения.

Воздействие продуктов переработки ДКР на структурное состояние почвы определялось их собственной спецификой, характером взаимодействия с почвой и влиянием на развитие корневых систем трав. Последние играли ключевую роль в восстановлении структурного состояния почвы в контрольном варианте опыта. Им удалось увеличить долю агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) на 4,4% (8% отн.), водопрочных агрегатов – на 2,2% (12% отн.), коэффициенты структурности и водопрочности – на 0,27 и 0,03 ед. (20 и 10% отн.) соответственно. Тем не менее, это не позволило в полной мере

преодолеть негативные последствия механического разрушения агрегатов при проведении мероприятий по освоению залежи.

Влияние щепы ДКР на структурное состояние почвы ограничивалось, главным образом, увеличением на 2,8% доли глыбистых (более 10 мм) включений древесной природы и соответствующим сокращением АЦФ а также Кстр. на 11% (отн.). Мелко измельченная биомасса ДКР в форме сечки, напротив, сокращала их долю на 5,6%, увеличив АЦФ на 5,8% и Кстр. – на 0,47 ед., т.е. на 9 и 29% (отн.) соответственно. При этом водопрочность почвенных агрегатов при запашке в почву щепы и сечки ДКР восстанавливалась заметно слабее, чем в контрольном варианте без участия биомассы ДКР.

Преобразование биомассы ДКР через технологическую стадию производства и сжигания топливных брикетов во вполне традиционный мелиорант – древесную золу и её дальнейшее применение вызвало повышение рН_{сол.} на 0,4 ед. рН. Это привело к пептизации части коллоидов и усилению адгезионной способности органо-минеральных плёнок на поверхности механических частиц. За счёт этого относительно контроля увеличилась АЦФ на 2%, ВПА – на 3,0%, Кстр. и Квп. – на 0,14 и 0,05 ед. соответственно.

Действие на ППК и состав почвенных агрегатов гораздо менее изученного продукта переработки ДКР – биоугля также носило положительный, но существенно более сложный характер. Он выражался, с одной стороны, в менее выраженном снижении обменной кислотности почвы всего на 0,2 ед. рН, а, с другой стороны, в поглощении диспергирующих коллоиды агентов. В результате данный мелиорант продемонстрировал лучший оструктурирующий эффект среди всех продуктов переработки ДКР. Относительно контроля уровень АЦФ, ВПА и Кстр. увеличился на 10,3%, 5,0% и 0,96 ед., т.е. в относительном исчислении – на 17, 29 и 54% соответственно. Биоуголь уступил по эффективности комплексу местных мелиорантов на основе высоких (20 т/га) доз ПП только в части положительного действия на водопрочность почвенных агрегатов.

Положительное влияние последних на структурное состояние тяжелой дерново-подзолистой почвы было ожидаемо высоким, существенно зависимым от уровня дозировки ПП и менее зависимым – от способа заделки в почву ДСМ. В почвах из вариантов КМ-1 и КМ-2 уровень АЦФ, ВПА, Кстр. и Квп. увеличился в относительном выражении на 5 и 13, 40 и 110, 15 и 107, 32 и 88% соответственно. В результате структурное состояние почвы приобрело отличные кондиции не только по составу агрегатов, но и по их устойчивости к разрушающему действию воды. Максимальных же параметров оптимизации агрегатного состава почвы удалось добиться при со-

четании применения комплекса местных мелиорантов с продуктами переработки ДКР. И, если влияние щепы, по-прежнему отмечалось негативной тенденцией, то сечки – положительной. Устойчивый достоверный оструктурирующий эффект сохраняли на фоне КМ зола и биоуголь. Отличных характеристик структурного состояния при их применении удавалось достигнуть уже на фоне комплекса мелиорантов в вариантах КМ-1 с их 20 т/га КП, 10 т/га ДСМ и 70 кг/га K_2O . Абсолютный максимум структурообразования, как сложного сочетания физических, физико-химических и биологических преобразований почвы был достигнут в вариантах с совместным применением КМ-2 и биоугля, где на фоне увеличения pH_{KCl} до 5,74 ед., илистой фракции – до 8,1%, органического вещества – до 5,47%, удалось улучшить АЦФ, ВПА, Кстр. и Квп. на 31, 184, 158 и 118% соответственно.

Такие изменения, во многом коррелировали с трансформацией кислотно-основного состояния почвы. Если запашка щепы и сечки подкисляла почву, то золы и биоугля – слабо нейтрализовала. Применение же 1 т/га птичьего помёта и сыромолотого доломита повышало уровень $pH_{сол.}$ в среднем на 0,01 и 0,1 ед. На их фоне существенно улучшился фосфатный, азотный и отчасти, калийный режим почвы.

В результате и на шестой год исследования положительный агрономический эффект от их применения имел удовлетворительное значение. В среднем по вариантам опыта на шестой год после применения мелиорантов в форме продуктов переработки ДКР, ранее произраставшей на месте освоенного сельскохозяйственного угодья, достоверный положительный эффект получен только от использования их в виде биоугля. Прибавка урожайности зеленой массы многолетних трав достигла 2,4 т/га или 12%. Во многом это было достигнуто за счёт его положительного действия на фоне применения комплекса традиционных химических мелиорантов: ДСМ и ПП. Выраженной тенденцией к положительному действию обладал и вариант с применением золы. По-прежнему продолжал проявляться и негативный эффект от прямой запашки в почву сечки ДКР, выражающийся в снижении продуктивности трав на 13%. В результате технологические варианты переработки надземной биомассы ДКР сформировали такой убывающий ряд агрономической эффективности: переработка в биоуголь > топливное преобразование в золу > измельчение в щепу > измельчение в сечку > сведение и удаление ДКР в бурты.

Положительный эффект от быстрого восстановления эффективного плодородия дерново-подзолистой почвы за счет применения комплекса традиционных мелиорантов к 6 году опыта заметно снизился, но,

несмотря на это составил в среднем по соответствующим вариантам опыта от 19 до 43%. Существенное значение в их агрономической эффективности имел ботанический состав посева многолетних трав, и в частности, представленность в нем клевера лугового, а также технологический характер применения сыромолотого доломита.

Если на пятый год после применения дробное внесение ДСМ уступало запашке его полной дозы только по фону 80 т/га птичьего помета, то на шестой год отставание этого технологического варианта начало проявляться и в ряде вариантов с половинной дозой птичьего помета.

Абсолютно лучший показатель агрономической эффективности (урожайность зеленой массы многолетних трав 26,15 т/га) на фоне неблагоприятных погодно-климатических условий был получен в технологическом варианте переработки 100т/га надземной биомассы ДКР в биоуголь и его внесении совместно с запашкой 10 т/га ДСМ и послойным применением 80 т/га птичьего помета. Прибавка продуктивности относительно контрольного технологического варианта традиционного сведения ДКР здесь составила 52%.

Оценка агроэкономической эффективности на основании фактических технологических карт, учтенных производственных затрат и доходов ООО «София» показал, что освоение незначительно закустаренной залежи, не требующее применения специализированной мелиоративной техники является в современных условиях весьма выгодным мероприятием. Без применения удобрений выращивание однолетних и многолетних трав на распаханной залежи, не успевшей подвергнуться существенному зарастанию кустарником и мелколесьем, но с сохранившимися удовлетворительными показателями почвенного плодородия, уровень рентабельности производства кормовой продукции составил 52%. Применение при этом местных химических мелиорантов на уровень рентабельности повлияло слабо, однако доходность мероприятия увеличилась со 184 до 208-270 тыс. руб/га за шесть лет. Уровень прибавки этого показателя достиг в вариантах с сыромолотым доломитом 13%, с птичьим помётом – 47%, с их комплексным применением – 85%.

Таким образом, уровень агрономической отдачи от совместного применения традиционных мелиорантов в сочетании с продуктами переработки ДКР практически нацело определялся оптимизацией параметров эффективного плодородия почвы и, в частности, его структурного, кислотно-основного состояния и питательного режима. Положительный эффект от восстановления эффективного плодородия почвы оказался столь значительным, что и через шесть лет после применения уровень прибавки урожайности трав от сочетания

комплекса традиционных мелиорантов с биоуглем достиг 8,94 т/га или 52%. Каждая тонна внесенного сыромолотого доломита приносит 2058 руб., а птичьего помета – 1080 руб. дополнительного чистого дохода. С учётом практической неограниченности их ресурсов в условиях Ленинградской области на применение этих мелиорантов и должна опираться практическая реализация программы освоения выведенных из оборота сельскохозяйственных земель.

Литература

1. Шевченко В.А. и др. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий. М.: ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, 2022. 205 с.
2. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. Под ред. Митина С.Г., Иванова А.Л. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. 400 с.
3. Архипов М.В. и др. Научные основы эффективного использования агро-ресурсного потенциала Северо-Запада России. СПб.-Пушкин, 2018. 135с.
4. Дубенок Н.Н., Иванов А.И., Чесноков Ю.В., Янко Ю.Г. Актуальные вопросы научного и кадрового обеспечения развития мелиорации в Нечерноземье // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 14-19.
5. Иванов А.И., Янко Ю.Г. Мелиорация как необходимое средство развития земледелия Нечерноземной зоны России // Агрофизика. 2019. № 1. С. 67-78.
6. Кирейчева Л.В., Шевченко В.А. Состояние пахотных земель Нечернозёмной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 12-16.
7. Сычёв В.Г., Налиухин А.Н. Изменение климата и углеродная нейтральность: современные вызовы перед аграрной наукой // Плодородие. 2021. № 5 (122). С. 3-7.
8. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Соколов И.В. Агрономическая эффективность освоения закустаренной залежи при воспроизводстве плодородия почв // Плодородие. 2020. №2 (113). С. 37-40.

REPRODUCTION OF SOIL FERTILITY AND EFFICIENCY MELIORATIVE DEVELOPMENT OF THE OVERGROWN DEPOSIT

Ivanov A.I.

North-West of the centre of interdisciplinary Restarches of Problems of Food Maintenance – SSS of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

St. Petersburg, ivanovai2009@yandex.ru

In a series of field experiments, the parameters of the impact of DCR processing products and local meliorants on the level of effective soil fertility, the productivity of annual and perennial grasses and the economic efficiency of the development of an artisanal deposit were established.

Condition. The maximum optimization of the most important agro-production indicators of the soil was achieved with the combined use of bio-coal with very high doses of a complex of meliorants, when the share of agronomically valuable and water-resistant aggregates increased by 31 and 184% and reached 80.7 and 59.7%, respectively. Six years after its application, the level of increase in the yield of grasses reached 8.94 t/ha or 52%. Each ton of raw-ground dolomite brought in brings 2058 rubles, and bird droppings - 1080 rubles of additional net income.

Keywords: *overgrown deposit, sod-podzolic soil, woody and shrubby vegetation, meliorant complex, biochar, ash.*

Удобрение и питание полевых культур азотом на серых лесных почвах Верхневолжья

Окорков В.В., доктор с.-х. наук

*ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный
центр», Суздаль, e-mail: okorkovvv@yandex.ru*

Аннотация. *В длительном стационарном опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние минеральных и органических удобрений на продуктивность 8- и 7-польных севооборотов и запасы подвижных форм азота в слое почвы 0-40 см. Установлена определяющая роль запасов $N-NO_3$ в питании полевых культур азотом. Предложено оценивать роль подвижных форм азота в питании культур азотом по отношению содержания $N-NO_3$ в почве к содержанию $N-NH_4$ в водной вытяжке 1:1. Разработан алгоритм расчета образования $N-NO_3$ за вегетацию культур и отдельные её фазы.*

Ключевые слова: *серая лесная почва, Владимирское ополье, удобрения, продуктивность и урожайность культур севооборота, нитратный азот, аммонийный азот, корреляционно-регрессионный анализ.*

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах Верхневолжья азот является лимитирующим урожайность полевых культур элементом питания. Так, в длительном полевом опыте, заложенном на серых лесных почвах Владимирского ополья в 1991-1993 гг., характеризующихся высокой емкостью катионного обмена (25-28 мг-экв/100 г почвы) [1], установлено, что средняя ежегодная продуктивность 8-польного зернотравяно-пропашного севооборота (1-я и 2-я ротации) на 89,1-94,7% и 7-польного зернотравяного севооборота (3-я и 4-я ротации) на 90-93% определялась применением азота минеральных удобрений и навоза крупного рогатого скота (табл. 1). Влияние фосфорно-калийных удобрений на продуктивность севооборота во 2-й и 4-й ротациях варьировало от 2,1 до 2,6%.

В табл. 2 приведены данные по влиянию систем удобрения на среднюю продуктивность изучаемых севооборотов. Её изменения составили от 29 до 45,5 ц/га з.е.

1. Математические зависимости по влиянию удобрений на среднюю продуктивность культур севооборотов, ц/га з.е. (на фоне известкования)

Ротация, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, n = 16	R ²
1-я, 1991-2000 гг.	$Y = 31,0 + 0,313 x_1 + 0,114 x_2$	0,947
	$Y = 30,7 + 0,313 x_1 + 0,184 x_2 - 0,0009x_2^2$	0,971
2-я, 1999-2008 гг.	$Y = 33,6 + 0,324 x_1 + 0,0895 x_2$	0,891
	$Y = 32,5 + 0,324 x_1 + 0,173 x_2 + 0,041 x_3 - 0,0014x_2^2$	0,965
	$Y = 33,4 + 0,324 x_1 + 0,175 x_2 - 0,0011 x_2^2$	0,939
3-я, 2007-2015 гг.	$Y = 33,1 + 0,256 x_1 + 0,122 x_2$	0,929
	$Y = 31,9 + 0,256x_1 + 0,180 x_2 + 0,060x_3 - 0,0014x_2^2$	0,972
	$Y = 34,2 + 0,368x_1 + 0,101x_2$	0,904
4-я, 2014-2022 гг.	$Y = 34,0 + 0,364x_1 + 0,189x_2 - 0,0013x_2^2$	0,937
	$Y = 33,4 + 0,350x_1 + 0,187x_2 + 0,045x_3 - 0,0017x_2^2$	0,958

Примечание: Y – средняя за ротацию продуктивность севооборота, ц/га з.е.;

x₁ – ежегодная средняя доза применения навоза в севообороте, т/га;

x₂ – ежегодная средняя доза азота N_{аа}, кг/га;

x₃ – ежегодная средняя доза применения РК удобрений в расчете на P₂O₅, кг/га.

В 1 т навоза содержание азота варьировало от 4,2 до 4,6 кг.

2. Влияние систем удобрения на среднюю продуктивность культур 8- и 7-польных севооборотов на серых лесных почвах Владимирского ополья, ц/га з.е.

Вариант	1-я ротация 8-польного севооборота, 1991-2000 гг.	2-я ротация 8-польного севооборота, 1999-2008 гг.	3-я ротация 7-польного севооборота, 2007-2015 гг.	4-я ротация 7-польного севооборота, 2014-2022 гг. (поле 1)
1. Контроль	29,0	32,9	30,8	31,9
2. Фон известкования	29,3	30,9	30,2	32,2
3. Фон + РК	31,4	33,8	33,5	34,7
4. Фон + NPK	36,4	39,6	39,7	40,5
5. Фон + 2 NPK	40,0	41,6	42,6	42,2
6. Фон + навоз 40 т/га (Н40)	31,8	34,9	33,8	36,4
7. Фон + навоз 60 т/га	34,1	35,8	35,0	37,4
8. Фон + навоз 80 т/га	33,5	35,8	35,3	37,9
9. Фон + Н40 + РК	32,4	36,0	35,6	37,1
10. Фон + Н40 + NPK	38,8	40,7	40,9	41,9
11. Фон + Н40 + 2NPK	42,2	42,2	43,0	43,6
12. Фон + Н60 + РК	33,4	36,4	36,3	37,7
13. Фон + Н60 + NPK	39,0	42,0	41,0	42,7
14. Фон + Н60 + 2NPK	41,3	42,0	44,0	43,3
15. Фон + Н80 + РК	34,0	37,8	37,1	39,1
16. Фон + Н80 + NPK	40,3	41,9	41,4	43,1
17. Фон + Н80 + 2NPK	41,5	43,3	45,5	44,0
Средняя	35,8	38,1	38,0	39,2
НСР ₀₅ , ц/га з.е.	2,8	4,3	3,4	2,7

В среднем по 17 вариантам опыта по сравнению с 1-й ротацией она заметно возросла во 2-й (с 35,8 до 38,1 ц/га з.е.) и 4-й (до 39,2 ц/га з.е.) ротациях.

Решающая роль удобрений на продуктивность культур проявлялась как через запасы нитратного азота в слое почвы 0-40 см в ранние сроки вегетации культур, так и величину мобильного фонда (МФ) азота в нем в тот же срок. МФ азота представлял сумму запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе. Величина МФ азота определялась [1] мобилизационным пулом азота, который пропорционален средней ежегодной дозе применяемых азотных минеральных удобрений и части азота, поступающего с органическими удобрениями, и за счёт симбиотической азотфиксации.

Между ежегодной средней продуктивностью севооборота, с одной стороны, МФ азота и среднегодовыми запасами $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур, с другой, выявлена тесная степенная или гиперболическая связь (табл. 3 и 4) [1].

3. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (у, ц/га з.е.) со средними запасами нитратного азота в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур (х, кг/га)

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, n = 17	R	R ²
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992-2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33,3 + 0,0844 (x - 44)$	0,926	0,856
Квадратичная	$Y_{1-2} = 32,7 + 0,234 (x - 44) - 0,0008 (x - 44)^2$	0,953	0,908
Степенная	$Y_{1-2} = 31,0 (x - 44)^{0,062}$	0,955	0,912
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 47,4 \frac{x}{20,2 + x}$	0,998	0,996
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007-2015 гг.			
Линейная	$Y_3 = 33,7 + 0,104 (x - 42)$	0,945	0,893
Квадратичная	$Y_3 = 33,0 + 0,253 (x - 42) - 0,0007 (x - 42)^2$	0,962	0,926
Степенная	$Y_3 = 28,8 (x - 40)^{0,088}$	0,987	0,975
Гиперболическая	$Y_3 = 51,3 \frac{x}{24,7 + x}$	0,998	0,996
4-я ротация 7-польного севооборота, 2014-2022 гг.			
Линейная	$Y_4 = 32,4 + 0,075 x$	0,901	0,812
Квадратичная	$Y_4 = 25,6 + 0,248 x - 0,0009 x^2$	0,957	0,916
Степенная	$Y_4 = 17,6x^{0,182}$	0,936	0,876

Установлено, что за 3-ю ротацию 7-польного севооборота средние запасы $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см к середине вегетации культур по сравнению с ранним сроком снижались на 54-70%, за 4-ю – на 54-67% (табл. 5 и 6).

**4. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y, ц/га з.е.)
с мобильным фондом азота (z, кг/га) в ранний период вегетации культур**

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, n = 17	R	R ²
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992-2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33,1 + 0,0722 (z - 69)$	0,923	0,851
Степенная	$Y_{1-2} = 28,6 (z - 69)^{0,075}$	0,942	0,886
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 51,0 \cdot \frac{z}{42,6 + z}$	0,996	0,993
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007-2015 гг.			
Степенная	$y = 26,7 (z - 60)^{0,102}$	0,963	0,928
Гиперболическая	$y = 53,7 \cdot \frac{z}{41,2 + z}$	0,995	0,991
4-я ротация 7-польного севооборота, 2014-2022 гг.			
Квадратичная	$Y_4 = 25,6 + 0,248 z - 0,0009 x^2$	0,957	0,916
Степенная	$Y_4 = 17,6z^{0,182}$	0,936	0,876
Примечание. В 4-й ротации МФ азота приравнили к запасам N-NO ₃ в слое почвы 0-40 см			

**5. Влияние систем удобрения на средние ежегодные запасы N-NO₃
и N-NH₄ в слое почвы 0-40 см под культурами 7-польного севооборота
в различные периоды их вегетации за 2007-2015 гг., кг/га**

Вариант	Всходы или возобновлени е вегетации (1-й срок)		Колошение и бутонизация (2-й срок)		Снижение запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м			
	з. NO ₃	з. NH ₄	з. NO ₃	з. NH ₄	з. NO ₃	з. NH ₄	з. NO ₃	з. NH ₄
1. Контроль	42,2	98,1	18,1	84,3	24,1	13,8	57	14
2. Фон известкования	42,4	98,2	19,8	84,8	22,8	13,4	54	14
3. Фон + РК	44,1	96,0	18,9	83,2	25,1	12,8	57	13
4. Фон + NPK	90,0	107	28,7	98,9	61,3	8,0	68	7,5
5. Фон + 2 NPK	123	118	44,8	107	78,2	11,4	64	11
6. Фон+навоз 40 т/га (H40)	46,5	104	20,6	92,2	26,0	11,3	56	11
7. Фон + навоз 60 т/га	50,6	106	22,3	91,7	28,3	14,2	56	13
8. Фон + навоз 80 т/га	51,3	105	19,9	90,6	31,5	14,0	61	13
9. Фон + H40 + РК	47,1	109	19,4	95,9	27,7	13,1	59	12
10. Фон + H40 + NPK	97,5	114	33,0	92,1	64,5	20,0	66	18
11. Фон + H40 + 2NPK	144	123	46,9	92,4	97,1	30,2	67	25
12. Фон + H60 + РК	51,0	110	20,8	94,2	30,2	16,3	59	15
13. Фон + H60 + NPK	101	115	35,3	89,8	65,7	25,1	65	22
14. Фон + H60 + 2NPK	150	136	48,3	106	102	30,5	68	22
15. Фон + H80 + РК	56,8	102	23,9	82,1	32,9	20,2	58	20
16. Фон + H80 + NPK	111	116	33,4	93,3	77,6	22,6	70	20
17. Фон + H80 + 2NPK	160	127	50,6	93,8	109	33,1	68	26

6. Влияние систем удобрения на средние ежегодные запасы N-NO₃ и N-NH₄ в слое почвы 0-40 см под культурами 7-польного севооборота в различные периоды их вегетации за 2014-2022 гг., кг/га

Вариант	Всходы или возобновле- ние вегетации (1-й срок)		Колошение и бутонизация (2-й срок)		Снижение запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м			
	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	кг/га		%	
1.Контроль	39,3	42	18,0	50	21,3	-8	54	-19
2.Фон известкования	42,3	46	19,4	51	22,9	-5	54	-11
3.Фон + РК	42,7	48	18,7	52	24,0	-4	56	-8,3
4.Фон + NPK	100	54	32,9	56	67,1	-2	67	-3,7
5.Фон + 2 NPK	147	60	53,1	60	93,9	0	64	-
6.Фон + навоз 40 т/га (Н40)	46,4	47	21,3	55	25,1	-8	54	-17
7.Фон + навоз 60 т/га	55,3	52	22,6	55	32,7	-3	59	-5,8
8. Фон + навоз 80 т/га	56,0	52	21,7	60	34,3	-8	61	-15
9.Фон + Н40 + РК	51,8	51	21,4	59	30,4	-8	59	-16
10.Фон + Н40 + NPK	107	54	35,6	58	71,4	-4	67	-7,4
11. Фон + Н40 + 2NPK	157	67	53,3	68	104	-1	66	-1,5
12. Фон + Н60 + РК	55,4	47	22,5	55	32,9	-8	59	-17
13. Фон + Н60 + NPK	112	57	36,0	61	76,0	-4	68	-7,0
14. Фон + Н60 + 2NPK	162	67	54,0	67	108	0	67	-
15. Фон + Н80 + РК	65,7	54	26,3	59	39,4	-5	60	-9,3
16. Фон + Н80 + NPK	118	60	42,1	61	75,9	-1	64	-1,7
17. Фон + Н80 + 2NPK	171	68	61,3	65	110	+3	64	4,4

За 1 - 3 ротации севооборотов запасы N-NH₄ в слое почвы 0 - 40 см к середине вегетации культур уменьшались на 7,5 - 26%, за 4-ю ротацию они в основном возрастали. Максимальное увеличение на 19% наблюдали в варианте абсолютного контроля (табл. 5 и 6). Следовательно, непосредственное участие аммонийного азота в питании полевых культур на серых лесных почвах является проблематичным, особенно в 4-й ротации. По-нашему мнению, на серых лесных почвах Ополья, характеризующихся высокой емкостью катионного обмена (ЕКО), появляющиеся в процессе трансформации азота почвы и органических удобрений ионы NH₄⁺, а также внесения аммонийных форм минеральных удобрений, интенсивно поглощаются ППК. В жидкой же фазе почвы остается небольшая доля N-NH₄, определяемого при вытеснении 1 М раствором KCl [1-3].

Как показано в работах [3 и 4], степень перехода N-NH₄ в жидкую фазу повышается с увеличением содержания в почве гумуса и на слабо выпаханных почвах с ростом содержания в почве вытесняемого N-NH₄,

уменьшением ЕКО, зависит от pH_{KCl} , влияющего на интенсивность процессов нитрификации. Нитратный азот почвы не поглощается отрицательно заряженным ППК и полностью находится в почвенном растворе (жидкой фазе). Поэтому участие разных подвижных форм в питании полевых культур предложено оценивать по отношению содержания $N-NO_3$ в почве к содержанию $N-NH_4$ в водной вытяжке 1:1 (нитратно-азотное соотношение, NAR). Чем выше оно, тем выше участие нитратного азота в питании культур азотом. Содержание $N-NH_4$ в жидкой фазе определяли с помощью ионоселективного электрода на ионы NH_4^+ .

Наши данные показали, что при возделывании зерновых и однолетних трав (викоовсяная и горохоовсяная смеси), бобово-злаковых многолетних трав величина NAR достигала десятки и сотни раз. При значениях NAR около 10 доля $N-NO_3$ от суммы $N-NH_4$ и $N-NO_3$ в жидкой фазе составляла около 91%, при NAR около 20 – более 95%, при NAR 40 – более 97%. Эти данные свидетельствовали о том, что питание изучаемых культур на серых лесных почвах Ополя происходило преимущественно за счет поглощения растениями нитратного азота.

На основании этих исследований установлено, что появляющийся в процессе трансформации азота почвы и органических удобрений $N-NH_4$, а также вносимый с минеральными удобрениями, подвергается в конечном счёте нитрификации. Образовавшийся $N-NO_3$ преимущественно и участвует в питании возделываемых культур на серых лесных почвах Ополя.

Преобладание в 15-20 раз нитратного азота над аммонийным на черноземах типичных [5] и в малогумусной аллювиально-дерновой почве Астраханской области [6] (исходная ЕКО 24 ммоль /100 г) подтверждает определяющую роль $N-NO_3$ в питании растений на почвах с высокой емкостью катионного обмена. В этом случае происходит интенсивное поглощение ППК ионов аммония [1].

По динамике $N-NO_3$ в почве в процессе вегетации полевых культур и выносу азота продукцией и пожнивно-корневыми остатками (ПКО) можно оценить общие размеры формирования нитратного азота, а также по фазам их роста и развития. Так, в табл. 7 и 8 приведены данные по влиянию удобрений на урожайность яровой пшеницы, идущей после занятого пара (викоовсяной и горохоовсяной смесей), и оценке средних за 4 года размеров накопления и использования запасов $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см по периодам вегетации культуры. Повышение урожайности культуры определялось применением навоза КРС и азота N_{aa} в составе полного минерального удобрения.

*7. Урожайность зерна яровой пшеницы, идущей после занятого пара,
за годы исследований, ц/га*

Вариант	2009 г.	2010 г.	2017 г.	2022 г.	Средняя
1. Контроль	51,1	20,8	47,0	24,0	35,7
2. Известь	48,1	20,9	48,9	24,4	35,6
3. P40K40	51,0	23,2	49,8	25,3	37,3
4. N40P40K40	65,6	26,3	65,0	28,0	46,2
5. N80P80K80	67,1	28,3	68,5	31,2	48,8
6. Навоз 40 т/га (Н40)	65,8	21,9	54,3	26,2	42,0
7. Н60	65,6	22,4	54,2	30,4	43,2
8. Н80	65,7	23,2	54,3	29,9	43,3
9. Н40 + P40K40	64,0	23,2	54,0	28,5	42,4
10. Н40 + N40P40K40	65,5	28,6	63,0	36,7	48,4
11. Н40 + N80P80K80	62,7	29,6	71,1	36,2	49,9
12. Н60 + P40K40	61,1	23,8	53,8	31,3	42,5
13. Н60 + N40P40K40	66,5	28,8	65,4	29,9	47,6
14. Н60 + N80P80K80	72,4	30,2	68,6	35,8	51,8
15. Н80 + P40K40	66,8	25,9	60,5	29,1	45,6
16. Н80 + N40P40K40	69,2	29,3	67,3	35,8	50,4
17. Н80 + N80P80K80	70,6	30,8	73,0	36,8	52,8
НСР ₀₅ , ц/га	7,1	2,2	3,8	2,7	4,0
Точность опыта, %	3,96	3,07	2,27	3,17	3,1

Общие размеры формирования N-NO₃ за вегетационный период находили суммированием выноса азота зерном и соломой яровой пшеницы, пожнивно-корневыми остатками [7] и запасов N-NO₃ в слое почвы 0-40 см в уборку. Общие размеры образования N-NO₃ в почве за вегетационный период варьировали от 161 до 360 кг/га. Они резко возрастали от применения одинарной и двойной доз полного минерального удобрения (от 169 на фоне известкования до 250 и 299 кг/га, соответственно), от доз навоза КРС – до 213-225 кг/га. При сочетании 80 т/га навоза КРС с двойной дозой NPK этот параметр возрастал до 360 кг/га.

Запасы N-NO₃ в фазу всходов были наиболее высокими при применении азотных удобрений и их сочетания с органическими (97,4 - 207 кг/га), наиболее низкими (45,1 - 48,4 кг/га) в вариантах без удобрений и вариантах применения навоза КРС (60,5 - 74,0 кг/га) и сочетания их с РК удобрениями (60,6 - 75,8 кг/га).

По разнице между выносом азота урожаем до колошения (70% от выноса азота зерном и соломой в уборку) и снижением запасов азота в почве от всходов до колошения определяли образование нитратного азота за этот период. От всходов до колошения наиболее высокие

показатели нитрификации были в вариантах без удобрений, при применении органических удобрений и их сочетания с фосфорно-калийными, наиболее низкими – при сочетании 60-80 т/га навоза с NPK, особенно с двойной дозой.

8. Средние за 4 года размеры формирования $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см по периодам вегетации яровой пшеницы, кг/га

Вариант опыта	Вынос N урожаям		Запасы в уборку (0-40 см)	Общие размеры формирования	Запасы в фазу всходов	Снижение запасов от всходов до колошения	Вынос N урожаям до колошения	Образование от всходов до колошения	Образование до колошения	Образ. от колошения до уборки
	зерно и солома	позднивно-корневые остатки								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	103	26,8	30,8	161	45,1	26,3	72,1	45,8	90,9	70,1
2.	106	28,5	34,8	169	48,4	26,5	74,2	47,7	96,1	72,9
3.	111	28,8	36,5	176	53,4	32,4	77,7	45,3	98,7	77,3
4.	161	40,7	48,2	250	101	60,2	113	52,8	154	96,0
5.	185	49,0	65,0	299	143	80,9	130	49,1	192,2	107
6.	135	34,6	43,1	213	60,5	38,4	94,5	56,1	117	96,0
7.	141	34,2	38,9	214	74,0	52,5	98,7	46,2	120	94,0
8.	146	37,3	42,0	225	72,5	53,2	102	48,8	121	104
9.	131	33,5	34,5	199	62,6	43,0	91,7	48,7	111	88,0
10.	166	40,7	44,2	251	97,4	63,4	116	52,6	150	101
11.	195	55,2	56,8	307	180	128	136	8,0	188	119
12.	138	34,3	38,0	210	60,6	37,0	96,6	59,6	120	90,0
13.	172	42,8	44,5	259	116	81,6	120	38,4	154	105
14.	200	54,5	72,6	327	194	127	140	13,0	207	120
15.	150	36,9	36,9	224	75,8	44,3	105	60,7	136	88,0
16.	188	51,1	46,2	285	134	100	132	32,0	166	119
17.	210	64,9	85,2	360	207	143	147	4,0	211	149

Примечание. Вынос азота до колошения принят в размере 70% от выноса зерном и соломой [8].

От колошения до уборки абсолютные размеры формирования нитратного азота возросли во всех вариантах, особенно с применением азотных удобрений и их сочетанием с органическими. Однако относительные размеры их образования от общих размеров были наиболее высокими в вариантах 1-3 и применения органических удобрений, сочетания последних с фосфорно-калийными (39,2-46,2%). В вариантах с применением азотных минеральных удобрений этот параметр варьировал от 35,7 до 41,7%.

Таким образом, в вариантах без удобрений, применения органических удобрений, их сочетания с фосфорно-калийными размеры формирования $N-NO_3$ до всходов и от всходов до колошения протекали примерно с близкой скоростью, а от колошения до уборки в 1,5 раза выше, т.е. трансформация азота в этих вариантах до колошения была недостаточно высокой. Общие размеры формирования $N-NO_3$ за вегетационный период (161-225 кг/га) в них заметно ниже, чем при применении азотных удобрений и сочетания их с органическими (250-360 кг/га).

При применении азотных минеральных удобрений и их сочетания с навозом резко возрастали размеры образования $N-NO_3$ до всходов (97,4-207 кг/га), но резко уменьшались от всходов до колошения (до 4 - 52,8 кг/га), а от колошения до уборки вновь увеличивались до 96 - 149 кг/га. Очевидно, для повышения урожайности и качества зерна яровой пшеницы в фазу выхода в трубку часто необходима подкормка посевов азотом.

За 4 года коэффициент использования общих размеров образования $N-NO_3$ на вынос азота основной продукцией варьировал от 33,6 до 43,4% (табл. 9). В среднем по 4-м дозам применения навоза (0, 40, 60 и 80 т/га) в вариантах без минеральных удобрений он составил 41,0%, применения РК удобрений – 42,0, NPK – 41,6, 2 NPK - 36,5%. В среднем по применению минеральных удобрений (0, РК, NPK и 2 NPK) в вариантах без органических удобрений его величина была равна 40,4%, внесения 40 т/га навоза – 40,5, 60 т/га – 41,0, 80 т/га – 39,4%. Следовательно, наименьший КИ1 общих размеров формирования нитратного азота наблюдался в вариантах применения двойной дозы NPK (38,1%) и сочетания ее с дозами навоза 40-80 т/га (37,4...33,6%). Эти результаты подтверждают оптимальность дозы внесения $N40P40K40$ (табл. 7). Выявлена тенденция снижения КИ1 на фоне применения минеральных удобрений от дозы 80 т/га навоза KPC (с 40,4-41,0 до 39,4%).

Коэффициент использования средних размеров формирующегося за вегетацию нитратного азота на вынос азота зерном и соломой варьировал от 60,8 до 66,9%. Он был наиболее высоким в вариантах сочетания фосфорно-калийных удобрений с навозом (65,7...66,9%) и одинарной дозы NPK с навозом (65,9...66,4%), наиболее низким (60,8-63,5%) – в вариантах с двойной дозой NPK и её сочетанием с навозом. Применение органических удобрений в среднем по вариантам минеральных удобрений (0, РК, NPK и 2 NPK) по сравнению с вариантами без навоза повысило КИ2 с 63,0 до 64,6-64,8%.

*9. Вынос азота зерном яровой пшеницы (кг/га) и коэффициент использования
общих размеров накопления N-NO₃ элементами урожая яровой пшеницы, %*

Вариант	2009	2010	2017	2022	Средний	КИ ₁	КИ ₂	КИ ₃
	кг/га					%		
1. Контроль	86,9	38,3	87,0	60,7	68,2	42,3	63,9	80,6
2. Известь	83,7	39,1	93,9	59,5	69,0	40,8	62,7	79,5
3. P40K40	93,8	42,7	95,6	62,0	73,5	41,7	63,0	79,4
4. N40P40K40	129	54,2	135	89,9	102	40,8	64,4	80,6
5. N80P80K80	151	61,1	151	93,8	114	38,1	61,8	78,2
6. Навоз 40 т/га (Н40)	126	42,7	104	66,3	84,8	39,8	63,3	79,6
7. Н60	135	44,6	111	74,8	91,4	42,7	65,8	81,8
8. Н80	138	50,1	107	73,0	92,0	40,8	64,8	81,4
9. Н40 + P40K40	110	45,5	103	71,0	82,4	41,4	65,8	82,6
10. Н40 + N40P40K40	149	62,9	130	93,2	109	43,4	66,1	82,3
11. Н40 + N80P80K80	144	67,2	156	94,5	115	37,4	63,5	81,4
12. Н60 + P40K40	116	50,5	106	80,8	88,3	42,0	65,7	82,0
13. Н60 + N40P40K40	147	62,5	137	92,5	110	42,4	66,4	82,9
14. Н60 + N80P80K80	164	71,9	152	94,9	121	37,0	61,1	77,8
15. Н80 + P40K40	134	53,9	123	75,1	96,5	43,0	66,9	83,4
16. Н80 + N40P40K40	156	63,9	145	93,1	114	40,0	65,9	83,8
17. Н80 + N80P80K80	136	69,0	162	97,9	116	33,6	60,8	79,6
Колебания в выносе азота зерном, разы	1,96	1,88	1,86	1,64	1,77	-	-	-

Примечания. КИ₁ – средний за 4 года коэффициент использования общих размеров формирования нитратного азота на вынос азота основной продукцией, КИ₂ – зерном и соломой, КИ₃ – зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками.

Коэффициент использования образующегося за вегетацию нитратного азота на общий вынос азота яровой пшеницей (зерно, солома, пожнивно-корневые остатки) колебался от 77,8 до 83,8%. Он был наиболее низким в вариантах с применением двойной дозы NPK (в среднем по 4 вариантам 79,2%) и в вариантах без органических удобрений (в среднем по 4 вариантам: последствие известкования и сочетания его с РК и NPK удобрениями - 79,4%).

Следовательно, в вариантах с двойной дозой NPK размеры биологически связываемого нитратного азота после уборки более низкие, чем при применении одинарной. Это может увеличивать потери азота из почвы за счёт денитрификации и вымывания в более глубокие слои.

Такие же исследования по размерам образования N-NO₃ за вегетацию и отдельные периоды ее проведены на овсе и ячмене, озимых зерновых, однолетних и многолетних травах. Например, на многолетних бобово-злаковых травах установлены как размеры симбиотической азотфиксации, так и размеры накопления азота в

пожнивно-корневых остатках. На травах 1-го пользования они эквивалентны внесению 60-70 т/га навоза КРС, на травах 2-го года пользования – 22-32 т/га.

Заключение

На серых лесных почвах Владимирского ополья в процессе трансформации азота почвы и органических удобрений основная часть образующегося $N-NH_4$, а также вносимого с аммиачной селитрой, поглощается обменным комплексом. Нитрификации подвергается $N-NH_4$, находящийся в жидкой фазе. Образовавшаяся нитратная форма азота в основном непосредственно участвовала в питании полевых культур. Предложено оценивать участие форм азота в питании культур по отношению содержания $N-NO_3$ в почве к содержанию $N-NH_4$ в водной вытяжке 1:1, т.е. по величине NAR. Предложен алгоритм расчета размеров образования $N-NO_3$ как за вегетацию культур, так и в отдельные периоды их вегетации.

Литература

1. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Серые лесные почвы Владимирского ополья и эффективность использования их ресурсного потенциала. Иваново: ПресСто. 2021. 188 с.
2. Окорков В.В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3-14.
3. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Удобрения и питание азотом яровой пшеницы на серых лесных почвах // Агрохимический вестник. 2023. № 1. С. 35-42.
4. Окорков В.В., Щукин И.М., Окоркова Л.А., Щукина В.И., Козлов А.А. Изменение содержания подвижных форм азота в серых лесных почвах ополья под влиянием ландшафтных особенностей агротехнологий // Агрохимия. - 2023. - № 1. - С. 13-24.
5. Клостер Н.И., Азаров В.Б., Лоткова В.В., Гребенникова Т.В., Визирская М.М. Эффективность серосодержащих удобрений на озимой пшенице в Центрально-черноземной зоне России // Агрохимический вестник. 2023. № 1. С. 19-22.
6. Салина Ю.Б., Шантасов А.М., Горленко М.В., Костина Н.В. Изучение эффективности применения биоугля для повышения плодородия почв Астраханской области // Агрохимический вестник. 2023. № 1. С. 50-55.
7. Органические удобрения: Справочник / П.Д. Попов, В.И. Хохлов, А.А. Егоров и др. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с.

8. Агрохимия: Классический университетский учебник для стран СНГ. В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова. 2017. 854 с.

Annotation. *In a long-term stationary experiment on gray forest soils of the Vladimir Opole, the effect of mineral and organic fertilizers on the productivity of 8- and 7-pole crop rotations and stocks of mobile nitrogen forms in the soil layer of 0-40 cm was studied. The determining role of $N\text{-NO}_3$ reserves in the nitrogen nutrition of field crops has been established. It is proposed to evaluate the role of mobile forms of nitrogen in the nutrition of crops with nitrogen in relation to the content of $N\text{-NO}_3$ in the soil to the content of $N\text{-NH}_4$ in the water extract 1:1. An algorithm for calculating the formation of $N\text{-NO}_3$ for the vegetation of crops and its individual phases has been developed.*

Keywords: *gray forest soil, Vladimir Opole, fertilizers, productivity and yield of crop rotation crops, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, correlation and regression analysis.*

Влияние жидких минеральных удобрений на пищевой режим чернозема обыкновенного при выращивании нута по технологии No-till

***Бирюкова О.А., Мокриков В.Г., Казеев К.Ш.,
Ерин В.А., Илюшечкин В.А.***

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону,
e-mail: oabirukova @sfedu.ru*

Проблема оптимизации минерального питания растений с целью воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности агроэкосистем является актуальной на всех этапах развития земледелия независимо от его направления и специализации. Пищевой режим почв сельскохозяйственных земель в основном зависит от применения удобрений. Рациональное использование минеральных удобрений способствует, прежде всего, благоприятному протеканию фотосинтетических процессов, от которых главным образом зависит образование биомассы и формирование высоких и устойчивых урожаев выращиваемых культур (Минеев и др., 2017). Нут является одной из привлекательных культур для сельхозтоваропроизводителей, так как сочетает уникальные качества, обусловленные биологическими особенностями такими как, высокая адаптивность к низким и высоким температурам, отзывчивость на минеральные удобрения, способность к азотфиксации. Востребованность нута определяется широкой сферой применения в качестве продовольственной и кормовой культуры. В Ростовской области возможности нута используются недостаточно, в том числе и при внедрении технологии No-till.

Исследования проведены в условиях производственного опыта на базе ИП Мокриков В.И. Октябрьского района Ростовской области. Объект исследования – чернозём обыкновенный карбонатный тяжело-суглинистый на лессовидном суглинке. Опытная культура – нут (*Cicer arietinum*), сорт – Бонус, предшественник – озимый ячмень. В опыте использовали жидкие формы минеральных удобрений: КАС (N32) и ЖКУ (11-37-0). Схема опыта: 1) контроль (без удобрений), 2) ЖКУ (N15P52), 3) КАС (N42), 4) ЖКУ + КАС (N58P52). Удобрения вносили при посеве нута. Образцы почвы (слои 0 - 10 и 10 - 20 см) отбирали по трем фазам развития нута: три настоящих листа, цветение, полная спелость. Анализ почвенных образцов проведен с использованием следующих методов: отбор проб почвы – ГОСТ 17.4.4.02-17; под-

готовка почв к анализу 6 пункт ГОСТа 17.4.4.02-17; определение нитратного азота – по ГОСТ 26951–86; обменного аммония – по ГОСТ 26489-85; подвижного фосфора и обменного калия – по Мачигину (Минеев и др., 2001).

В результате исследований установлено, что динамика нитратного азота при возделывании нута по вариантам опыта и по слоям почвы различалась (рис. 1). На контрольном варианте содержание нитратного азота по фазам развития нута практически не изменяется, выявлена тенденция к снижению рассматриваемого показателя в фазу цветения. В вариантах ЖКУ (N15P52) и ЖКУ + КАС (N58P52) установлено существенное уменьшение нитратного азота в фазу цветения с повышением его количества в фазу полной спелости. Применение удобрений способствовало увеличению содержания нитратного азота в слое почвы 0–10 см в течение вегетации нута. В фазу трех настоящих листьев существенное повышение нитратного азота по сравнению с контролем установлено по всем удобренным вариантам. В фазы цветения и полной спелости – в вариантах КАС и ЖКУ +КАС. Выявленная закономерность наблюдалась и в слое 10 - 20 см. При этом проявляется дифференциация содержания нитратного азота по слоям почвы. По всем срокам наблюдения содержание нитратного азота в слое 0 - 10 см больше, чем в слое 10 - 20 см, что характерно для используемой технологии (Ильченко и др., 2021; Минникова и др., 2019).

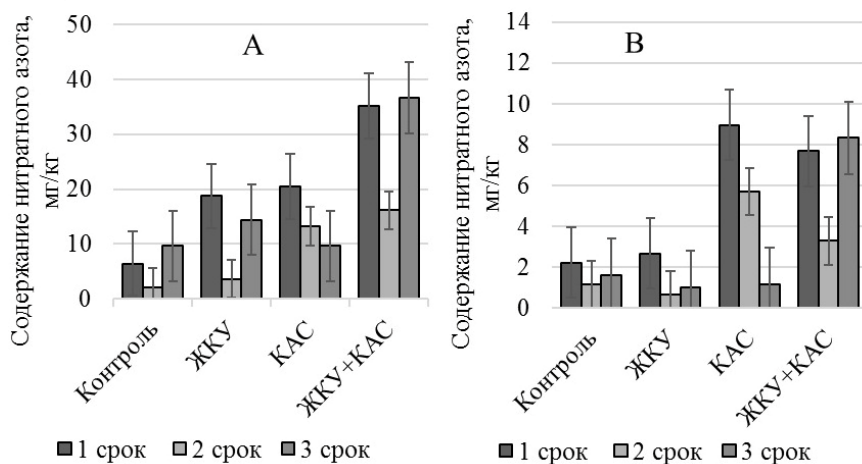


Рисунок 1. Содержание нитратного азота в почве под нутом при внесении удобрений: А) 0–10 см, Б) 10–20 см, мг/кг

В отличие от нитратного азота динамика аммонийного азота по всем вариантам опыта имеет одну направленность – снижение с фазы трех настоящих листьев до минимальных значений в фазу полной спелости нута. Указанные изменения наблюдаются как в слое 0-10, так и в слое 10-20 см (рис. 2). Дисперсионный анализ показал, что существенное увеличение содержания аммонийного азота в слое 0-10 см выявлено во все исследуемые фазы при внесении КАС (N42). В нижележащем слое почвы (10-20 см) повышение аммонийного азота установлено в удобренных вариантах в течение всего периода развития растений нута. Тем не менее уровень содержания аммонийного азота в почве по всем вариантам и срокам отбора образцов – низкий, что, вероятно, обусловлено поглощением элемента растениями в процессе формирования урожая, а также высокой интенсивностью процесса нитрификации. Дифференциация аммонийного азота по слоям почвы слабо выражена.

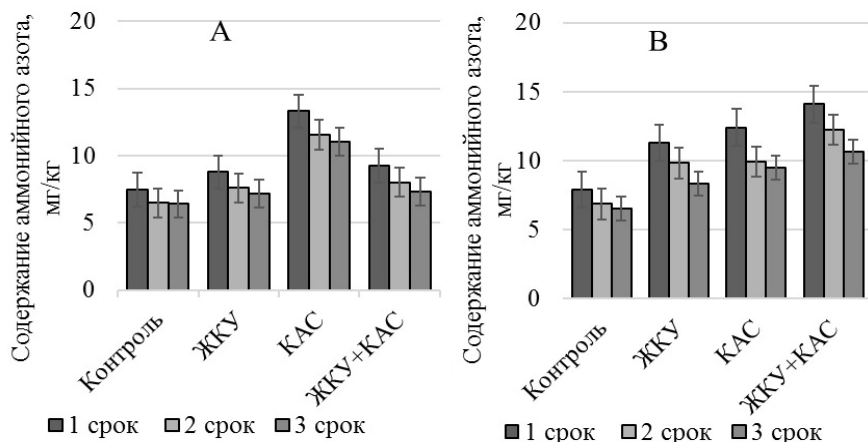


Рисунок 2. Содержание аммонийного азота в почве (0–10 см) под нутом при внесении удобрений: А) 0–10 см, Б) 10–20 см, мг/кг

В результате исследований установлено, что динамика подвижного фосфора в течение вегетации нута в анализируемых слоях почвы оказалась сходной (рис. 3). Его содержание уменьшалось по мере роста и развития растений нута. Максимальное потребление всех элементов питания у зернобобовых культур осуществляется в фазу полного налива зерна. Поглощение фосфора в период от всходов до цветения составляет 25,0%, калия 40,0% от максимального накопления этих элементов в растениях (Агафонов и др., 2009). Применение ЖКУ как

отдельно, так и совместно с КАС способствовало существенному увеличению содержания подвижного фосфора в почве. Степень обеспеченности в указанных вариантах характеризуется как высокая. Аналогичная закономерность наблюдается и в фазу цветения. Однако в эту фазу обеспеченность почвы доступным фосфором снизилась до повышенного уровня при среднем на контроле. К фазе созревания зерна нута наблюдается значительное снижение содержания подвижного фосфора. В этот период количество доступного фосфора в почве по всем вариантам опыта было практически одинаково и соответствовало низкой обеспеченности.

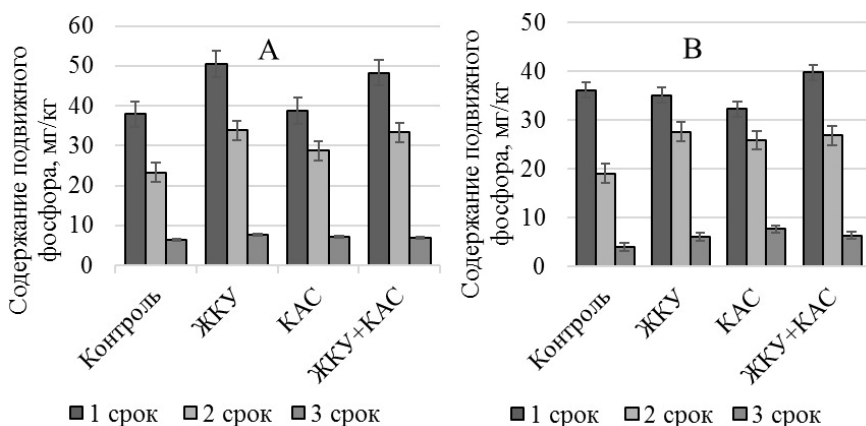


Рисунок 3. Содержание подвижного фосфора в почве под нутом при внесении удобрений: А) 0 - 10 см, В) 10 - 20 см, мг/кг

В слое 10-20 см изменения в содержании подвижного фосфора, вызванные применением удобрений, значительно слабее, чем в верхнем. Следует отметить, что применение ЖКУ при возделывании нута по технологии No-till приводит к дифференциации содержания подвижного фосфора по профилю почвы с максимальным накоплением в верхнем слое (0 - 10 см), что подтверждается ранее проведенными исследованиями (Есаулко и др., 2018; Сычев и др., 2023).

В соответствии с существующей градацией, обеспеченность чернозема обыкновенного обменным калием под нутотом высокая (0 - 10 см) и повышенная (10 - 20 см) (рис. 4).

При внесении исследуемых минеральных удобрений установлено уменьшение калия. Минимальное его значение в слое почвы 0 - 10 см обнаружено при внесении ЖКУ с КАС – 655,5 мг/кг, что на 34,3 мг/кг

меньше по сравнению с контролем; а в слое 10 - 20 см – в варианте с КАС – 349,0 против 392,0 мг/кг на контроле.

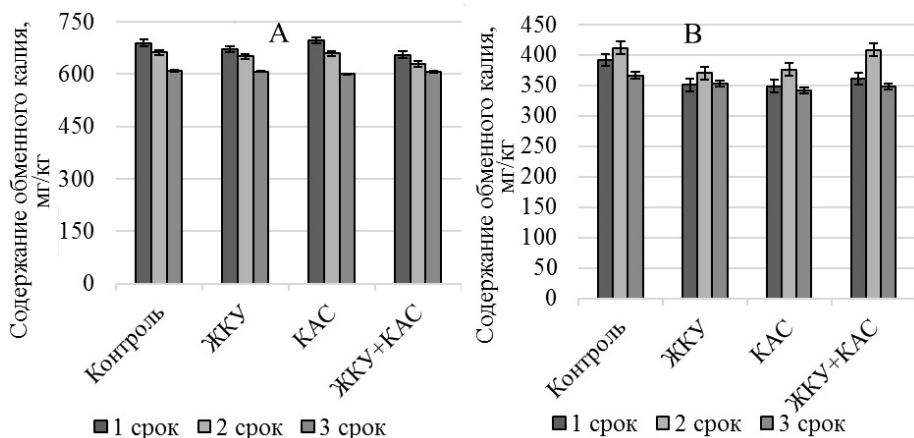


Рисунок 4. Содержание обменного калия в почве под нутом при внесении удобрений: А) 0-10 см, В) 10-20 см, мг/кг

Дисперсионный анализ подтвердил существенное уменьшение содержания обменного калия при внесении указанных удобрений. Аналогичные изменения наблюдались и в другие фазы. Возможно, это связано с усилением поглощения обменного калия при формировании большей вегетативной массы растений нута под влиянием ЖКУ и КАС. Дифференциация обменного калия по слоям почвы 0 - 10 и 10 - 20 см практически такая же, как и подвижного фосфора.

В целом по опыту внесение КАС и КАС на фоне ЖКУ повысило урожайность нута на 2,4 ц/га (25,0%) и 1,6 ц/га (16,0%) соответственно по сравнению с контролем. Выявлены прямые существенные зависимости урожайности нута от накопления минерального азота по слоям почвы 0 - 10 и 10 - 20 см в фазу трех настоящих листьев ($r = 0,71$ и $r = 0,56$; $r = 0,61$ и $r = 0,96$ при $p < 0,05$, соответственно для аммонийного и нитратного азота).

Таким образом, применение жидких минеральных удобрений на черноземе обыкновенном при выращивании нута по технологии No-till улучшает пищевой режим, что обеспечивает рост урожайности.

Работа выполнена при поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ, FENW-2021-0014).

Литература

1. Агафонов, Е.В. Повышение урожайности и сбора белка при возделывании нута в Ростовской области / Е.В. Агафонов, К.И. Пимонов, Е.И. Пугач // Кормопроизводство. – 2010. – № 6. – С.25–28.
2. Есаулко, А.Н. Динамика показателей почвенного плодородия при возделывании сельскохозяйственных культур по технологии no-till в условиях Ставропольского края / А.Н. Есаулко, С. А. Коростылев, М.С. Сигида, Е.В. Голосной // Агрохимический вестник. – 2018. – № 4. – С. 58–62.
3. Ильченко, Я. И. Содержание минерального азота в черноземе обыкновенном при внесении удобрений в системе No-till / Я.И. Ильченко, О.А. Бирюкова, А. М. Медведева // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб.науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. В.В. Корунчикова, Л.С. Новопольцева; под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ. 2021. – С. 250 - 253.
4. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебное пособие / В.Г. Минеев., В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. ; под ред. В.Г. Минеева. – М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
5. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев., В.Г. Сычев, О.А. Амелянчик и др.; под ред. В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
6. Минникова, Т.В. Влияние прямого посева озимой пшеницы на содержание в черноземе элементов питания / Т.В. Минникова, Н.Е. Кравцова, Г.В. Мокриков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С.64-71.
1. Сычев, В.Г. Влияние технологии прямого посева на агрохимические показатели чернозема южного в условиях Центрального Предкавказья / В.Г. Сычев, Ю.И. Гречишкина, М.С. Сигида, А.В. Матвиенко // Плодородие. – 2023. - № 2. – С.17–19.

Урожайность и масса 1000 семян зерна нута в зависимости от дозы основного удобрения и обработок молибденсодержащим препаратом в почвенно-климатических условиях Центрального Черноземья

Борисенко Г.О., Азаров В.Б., Лоткова В.В.

*ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина»,
п. Майский, lotkova 2001@mail.ru*

В современных условиях хозяйствования, где сельскохозяйственные предприятия не придерживаются севооборотов, отказываясь от выращивания бобовых культур, применяют устаревшую технику и технологии, происходит резкое снижение продуктивности пахотных земель. Одним из путей улучшения данной ситуации является внедрение в производство нута, что является одним из способов повышения плодородия почвы, решение проблем производства кормового и пищевого белка и становление экономической стабильности хозяйств [3].

Использование нута позволяет рационально построить севооборот, особенно в южной зоне Белгородской области, где в условиях ограниченного природного обеспечения влагой становится особенно актуально [1].

В РФ нут является малораспространённой и недостаточно исследованной культурой, а большинство рекомендованных технологий его выращивания базируются на общих подходах к обработке почвы и уходу за посевами. Неосведомленность товаропроизводителей в особенностях его выращивания приводит к получению невысоких урожаев, большой засоренности посевов, низкого качества зерна, и, как следствие, делает невозможным формирование реализационных торговых партий. На внутреннем рынке спрос на нут незначителен, но экспортный потенциал культуры велик [4].

Нут - ценная культура в агротехническом отношении, поскольку является одним из лучших предшественников. После его уборки с пожнивными остатками в почву поступает столько же питательных веществ, сколько их содержится в 15-20 т навоза. По сравнению с другими зерновыми бобовыми культурами, нут менее требователен к влаге и отличается высокой засухоустойчивостью [2]. Наличие такой биологической особенности растений нута объясняется тем, что их

клетки содержат меньше свободной и больше связанной воды. Вследствие этого испарения у них ниже, чем у других бобовых культур. В период засухи нут приостанавливает рост и развитие, а при наступлении благоприятных условий – восстанавливает.

Объекты и методы

Объектом исследования послужила сельскохозяйственная культура нут. В основу разработки методики и проведения исследований положены общепринятые методы по проведению полевых опытов, а также методические рекомендации разработанные в лаборатории земледелия и растениеводства агрономического факультета в предыдущие годы.

Место проведения исследования – юго-восточная часть Белгородской области. Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый слабо эродированный на лессовидном суглинке.

Опыт проведен в трехкратной повторности вариантов. Расположение делянок линейное. Учет урожая и его качества осуществлялся по итогу уборки урожая в конце июля – начале августа. Метод учета урожая – прямое комбайнирование. Продолжительность опыта 3 года.

Математическая обработка полученных данных проведена по методике Б.А. Доспехова (1985).

Обсуждение результатов

В ходе трехлетнего полевого опыта, включающего в себя фактор удобренности посевов нута макроэлементами – азотом, фосфором, калием, а также молибденом и фактор нормы высева семян (густоты посевов) получена максимальная урожайность культуры на уровне 1,84 т/га (табл. 1).

Показатель урожайности зерна нута варьируется от 1,25 до 1,84 т/га. Стоит отметить тенденцию наибольшей прибавки урожая в вариантах с применением молибденсодержащих препаратов. Причем в вариантах с N 58P114K110 отмечен больший эффект в сравнении с N46P57K55. Следует отметить, что последний вариант требует меньших затрат фосфора и калия в два раза, при этом различие по урожайности отличается порядка на 0,1 т/га.

Полученные данные позволяют нам судить об эффективности применения молибденсодержащих препаратов, поскольку видно, что его действие практически компенсирует урожайность при меньших дозах азотных (в 1,2 раза), фосфорных и калийных (в 2 раза) удобрений.

1. Урожайность и качества зерна нута в зависимости от применения удобрений и густоты стояния растений

Удобрение (Фактор А)	Густота стояния растений (Фактор В) млн. шт./га	Урожайность, т/га	Масса 1000 семян, г
Без удобрений	0,6	1,25	230
	0,8	1,36	236
	1	1,40	240
N ₄₆ P ₅₇ K ₅₅	0,6	1,48	240
	0,8	1,59	245
	1	1,64	227
N ₄₆ P ₅₇ K ₅₅ +МО	0,6	1,62	232
	0,8	1,73	236
	1	1,78	236
N ₅₈ P ₁₁₄ K ₁₁₀	0,6	1,50	241
	0,8	1,60	223
	1	1,67	228
N ₅₈ P ₁₁₄ K ₁₁₀ +МО	0,6	1,65	232
	0,8	1,78	232
	1	1,84	236
НСП ₀₅		0,04	18,2

Заключение

При анализе влияния фактора густоты стояния растений мы наблюдаем четкую закономерность увеличения урожайности с повышением значения. Так, например, на контрольном варианте без применения удобрений при высеве 0,6 млн. шт./га получена урожайность 1,25 т/га, при 0,8 млн. шт./га – 1,36 т/га, при 1 млн. шт./га – 1,40 т/га. В самом полном варианте с применением макро- и микро-элементов N58P114K110 + МО при соответствующей густоте стояния растений получены значения, равные 1,65 т/га, 1,78 т/га и 1,84 т/га.

В отношении показателя массы 1000 семян изучаемые факторы не оказывали определенного влияния. Интересно, что наибольшим этот показатель оказался на варианте N46P57K55 без применения молибденсодержащих удобрений и составил 240-245 г. Несколько ниже проявил себя контрольный вариант – 230-240 г. А вот на вариантах с применением молибденсодержащих удобрений и N58P114K110 (как в комбинации, так и без) масса 1000 семян не превышает 241 г. Мы можем наблюдать формирование более мелких семян, но в большем количестве, что и обеспечивает высокую урожайность посевов.

Литература

1. Клостер, Н.И. Возделывание сои по биологической технологии в Белгородской области / Н.И. Клостер, В.В. Лоткова, В.Б. Азаров // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия : Сборник докладов XVII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 27–29 апреля 2022 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2022. – С. 125-128.
2. Клостер, Н.И. Органические удобрения / Н.И. Клостер, В.Б. Азаров, В.В. Лоткова. – Белгород : Отчий край, 2022. – 216 с. – ISBN 978-5-85153-172-9.
3. Мустанов, С.Б. Влияние сроков посева различных сортов нута на продуктивность растений / С. Б. Мустанов, У. Э. Умурзакова, З. С. Мустанова // Актуальные проблемы современной науки. – 2020. – № 2(111). – С. 150-152. – DOI 10.25633/APSN.2020.02.06.
4. Сафронов, А.А. Влияние способов посева на урожайность нута в условиях Нижнего Поволжья / А.А. Сафронов, М.Г. Сучкова, Г.А. Маслова, В.С. Плак-сина // Вавиловские чтения - 2019 : Международная научно-практическая конференция, посвященной 132-ой годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 25–26 ноября 2019 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2019. – С. 151-153.
4. EDN INWKFK. В.Н. Павленко Вопросы совершенствования технологии возделывания нута на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья // Научно-агрономический журнал. 2014. №1 (94).

Влияние ионита ZION и удобрения Osmocote на рост и развитие перца овощного (*Capsicum annuum*. L) в защищенном грунте

Егоров В.С.¹, Граматик К.В.², Егорова Е.В.³

*ФГБОУ «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, г. Москва*

¹ - *evs_msu@mail.ru*, ² - *ksusha.urakova@yandex.ru*,

³ - *ev_egorova@inbox.ru*

Растения перца выращивают в закрытом и в открытом грунте. При возделывании культуры периодически проводят подкормки удобрениями, что увеличивает трудоемкость выращивания, изменяет состав почвы, существует риск передозировки и корневого ожога у растений. Инновационные (ионитные) удобрения позволяют избежать этих проблем. В почве ионитные удобрения постепенно высвобождают анионы и катионы питательных веществ, которые в процессе питания растений обмениваются на их метаболиты. Использование грунта с ионитными удобрениями положительно влияло на рост кукурузы, салата, райграса, плодовых деревьев и кустарников и др. Такие удобрения могут положительно влиять на рост и качество перца. Однако в настоящее время в научной литературе недостаточно информации, касающейся системных исследований по данному вопросу. В этой связи представляет интерес изучение особенностей роста перца *C. annuum* с добавлением ионитных удобрений, а также в сравнении с применением медленнодействующих и традиционных удобрений при выращивании этой культуры.

Цель работы: провести сравнительное изучение влияния ионитного удобрения ZION, медленнодействующего удобрения Osmocote и стандартных форм минеральных удобрений на рост и развитие Перца сладкого в условиях закрытого грунта.

Объекты и методы. Опытное растение – Перец овощной (*Capsicum annuum* L.) сорти типа «Винни-Пух» .

ZION «для овощей» – ионитное удобрение на основе насыщенного цеолита (клиноптиолита), созданное для выращивания растений по технологии ионопоники. Соотношение N:P₂O₅:K₂O - 0,55:0,62:1,71%. Osmocote Bloom – комплексное минеральное гранулированное удобрение пролонгированного действия, каждая гранула которого покрыта органической полупроницаемой оболочкой из биоразлагаемой

смолы на основе растительных масел. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ - 12:7:18%.

Аммиачная селитра – содержание азота 33%. Суперфосфат простой – $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ $2CaSO_4$ содержание P_2O_5 . 29% – Калий хлористый – KCl , содержание K_2O 52,3%.

Грунт – верховой сфагновый нейтрализованный торф низкой степени разложения марки «Агробалт-Н».

Опыт был заложен 14 декабря 2020 года в ФГБУН Институт биохимии имени А.Н. Баха ФИЦ Биотехнологии Российской академии наук. Продолжительность опыта 4,5 месяца.

Схема опыта включала 4 варианта. 1. Контроль без удобрений, 2. ZION, 3. Osmocot + РК, 4. NPK. Повторность – 6 кратная. Объем сосуда 2,5 л. Доза удобрения ZION составила 10% от массы воздушно-сухого торфа - 324 г. Расчет доз других удобрений проведен на основе содержания и соотношения питательных элементов в удобрении ZION, что составило 550 мг N, 620 мг P_2O_5 и 1710 мг K_2O на кг сухого торфа. Вермикулит в дозе 32,4 г вносили во все варианты опыта без ZION для выравнивания соотношения твердой, жидкой и газообразной фаз в грунте по вариантам опыта.

Опыт проведен в контролируемых условиях при искусственном освещении с фотопериодом в 14 часов при постоянной температуре в помещении 22°C.

Результаты и обсуждение

Применение удобрений не изменило кислотность грунта, но существенно увеличило содержания всех трех элементов питания растений (табл. 1).

Разные виды удобрений достоверно увеличили содержание аммонийного азота в грунте по сравнению с контролем ($p < 0,0003$). Максимальное его содержание зафиксировано для вариантов ZION и NPK, Содержание $N-NH_4$ в варианте [ZION и NPK почти в 2 раза превосходит таковое для Osm + РК ($p < 0,002$) (табл. 1). Содержание фосфора также достоверно возросло по сравнению с контролем ($p < 0,01$). Влияние удобрений на вариантах ZION, Osm + РК и NPK на содержание P_2O_5 статистически не различается ($p > 0,4$). Применение удобрений достоверно увеличило содержание калия в грунте по сравнению с контролем ($p < 0,0003$). Для всех вариантов с удобрениями различия достоверны ($p < 0,00001$) (табл. 1).

1. Агрохимическая характеристика и уровень обеспеченности грунта питательными веществами.

Вариант	pH _{вод}	NH ₄ ⁺		P ₂ O ₅			K ₂ O		
		мг/кг	мг/л	мг/кг	мг/л	Уровень обеспеченности	мг/кг	мг/л	Уровень обеспеченности
Контроль	6,53	16,0	2,6	88,7	14,4	нормальный	80	13,0	низкий
ZION	6,33	70,2	11,4	191,7	31,1	высокий	320	51,8	низкий
Osm+PK	6,51	33,8	5,5	209,1	33,9	высокий	903	146,3	нормальный
NPK	6,41	68,6	11,1	221,5	35,9	высокий	674	109,2	умеренный

Уровень обеспеченности питательными веществами грунта вариантов опыта в соответствии с грациями по Тарakanову (Брызгалов с соавт., 1995). представлен в табл. 1.

Удобрения по-разному влияли на динамику формирования цветков и плодов перца: растения варианта ZION зацвели и сформировали плоды на 15 дней раньше, чем растения варианта Osm+PK, и на 7 дней позже растений варианта NPK.

Максимальная масса растений перца сформировалась на варианте ZION, что в 2 раза превышает биомассу, полученную на варианте Osm+PK. Биомасса на варианте NPK сопоставима с биомассой варианта ZION (табл. 2).

2. Биомасса растений перца, (вес 1 растения, г)

Вариант	Орган	Сырая масса	Сухая масса
Контроль	лист+ стебель	0,3	0,013
ZION	стебель	2,7	0,32
	лист	4,4	0,3
	мякоть	12,2	0,6
	плодоножка	2,3	0,2
Osm+PK	стебель	1,6	0,3
	лист	2,2	0,2
	мякоть	4,5	0,2
	плодоножка	1,0	0,1
NPK	стебель	3,8	0,5
	лист	5,8	0,6
	мякоть	6,6	0,4
	плодоножка	1,9	0,1

На контрольном варианте урожай плодов не был получен. На варианте ZION масса органов перца почти в 2 раза выше, чем при внесении Osm+PK, а для мякоти плода выше почти в 3 раза. Вариант NPK занимает промежуточное положение.

Для оценки влияния удобрений на содержание элементов питания в растениях перца было определено содержание азота, фосфора и калия во всех органах растений по вариантам опыта (табл. 3).

3. Содержание азота, фосфора и калия в органах растений перца

Вариант опыта	Часть растения	N, мг	P ₂ O ₅ , мг	K ₂ O, мг
Контроль	лист + стебель	0,5	0,1	0,2
ZION	стебель	5,3	1,1	12,0
Osm+PK		6,6	0,8	7,4
NPK		13,4	2,1	20,4
ZION	лист	4,1	1,2	10,6
Osm+PK		4,0	2,3	9,9
NPK		16,6	4,7	25,9
ZION	мякоть	15,6	4,8	17,4
Osm+PK		5,9	9,2	6,9
NPK		10,1	3,8	10,8
ZION	плодоножка	4,2	1,8	7,5
Osm+PK		1,2	0,7	3,0
NPK		3,9	1,6	6,0

Влияние удобрений ZION, Osm+PK и NPK на содержание общего азота в биомассе растений статистически достоверно отличаются ($p < 0,004$), за исключением пары ZION - Osm+PK, для которой различие статистически недостоверно ($p = 0,99$). Отличия от контроля для всех вариантов статистически достоверны ($p < 0,001$). Таким образом, применение удобрений ZION и Osm+PK приводит к одинаковому накоплению азота в растениях. На варианте NPK содержание азота в растении больше, чем на вариантах ZION и Osm+PK. Внесение всех исследуемых удобрений существенно повышало содержание азота в перце (табл. 3).

Содержание P₂O₅ в сухой биомассе растений при внесении удобрений ZION, Osm+PK и NPK статистически не отличаются ($p > 0,05$), за исключением пары ZION-NPK, для которой различие достоверно ($p < 0,005$). При этом отличия от контроля для всех вариантов статистически достоверны ($p < 0,00001$). Таким образом, применение растворимых форм удобрений (вариант NPK) приводят к большему повышению содержания фосфора в растениях по сравнению

с применением удобрения ZION. Содержание фосфора на вариантах ZION и Osm+PK, NPK и Osm+PK не различается. Применение исследуемых удобрений привело к существенному повышению содержания фосфора в растениях перца по сравнению с контролем (табл. 3).

Содержание K_2O в сухой биомассе растений при внесении удобрений ZION, Osm+PK и NPK статистически достоверно отличаются для всех трех пар сравнений ($p < 0,01$). При этом отличия от контроля для всех вариантов также статистически достоверны ($p < 0,001$). Таким образом, применение водорастворимых форм удобрений (вариант NPK) приводит к большему накоплению калия в растениях, чем на вариантах ZION и Osm+PK. Содержание калия на варианте ZION больше, чем на варианте Osm+PK. Все исследуемые удобрения обеспечивают достоверное повышение содержания калия в растениях перца по сравнению с контролем.

При внесении удобрения ZION обеспечивается более эффективное накопление азот, фосфора и калия в плодах, в то время, как при внесении Осмоката и NPK основная масса элементов сосредоточена в стеблях и листьях (рис. 1). На этом варианте отмечен и наибольший урожай плодов перца.

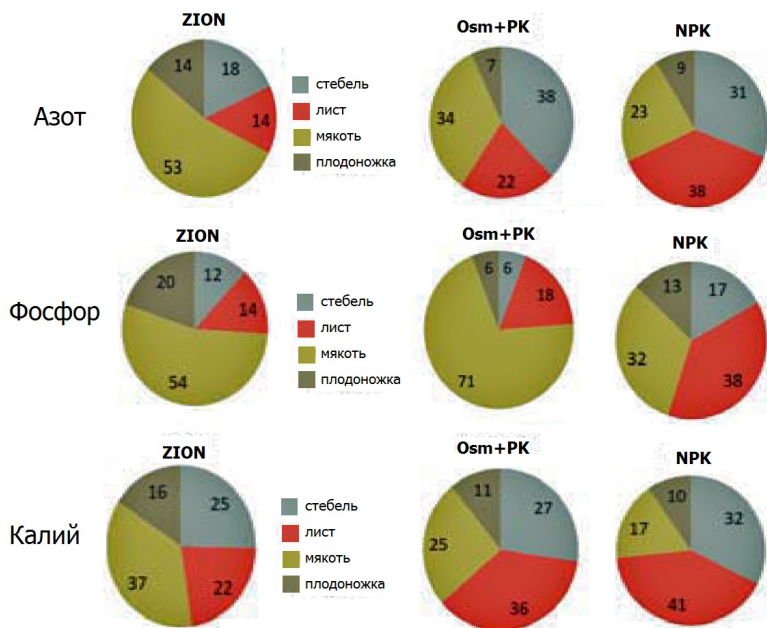


Рис. 1. Соотношение азота, фосфора и калия в органах растений перца, %

Для оценки эффективности использования растениями питательных веществ был рассчитан их расход на формирование 1 г сухого вещества плодов перца, который получили делением выноса азота (или фосфора, или калия) растением на массу сухого вещества плода (мякоть + плодоножка) (табл. 4). Установлено, что применение удобрения ZION обеспечило более экономный расход элементов питания на формирование товарной части урожая по сравнению со сравниваемыми видами удобрений. В то же время наибольший коэффициент усвоения питательных веществ из удобрений отмечен при использовании растворимых форм удобрений. Это говорит о том, что при оценке эффективности разных форм удобрения необходимо ориентироваться не только на коэффициент использования веществ из удобрений, но и оценивать их расход на формирование основной продукции (табл. 4.)

4. Расход питательных веществ (мг) на формирование 1 г сухого вещества плодов перца и коэффициент использования питательных веществ из удобрений

Вариант опыта	Расход на формирование 1г сухого вещества, мг			Коэффициент использования, %		
	Азот	Фосфор	Калий	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
ZION	36,2	11,1	59,4	16,00	4,40	8,60
Osm+PK	57,1	42,3	87,7	9,56	6,50	4,91
NPK	86,3	23,9	123,9	24,17	6,05	11,45

Выводы

Наибольший урожай плодов перца овощного обеспечило применение удобрения ZION. Урожай был выше, чем на варианте с внесением водорастворимых форм удобрений в 1,7 раза и варианте с внесением Osmocote – в 2,7 раза.

Ионитное удобрение ZION обеспечило более эффективное накопление питательных веществ в плодах перца овощного и более экономное расходование питательных веществ на формирование урожая по сравнению с традиционными водорастворимыми формами удобрений и медленнодействующим удобрением Osmocote.

Влияние нейтрализованного раствора азотной кислоты после обработки мискантуса на прорастание семян пшеницы и огурцов

Калюта Е.В., Мальцев М.И.

Алтайский ГАУ, Барнаул, kalyuta 75@mail.ru

Введение

В современном сельском хозяйстве для большинства культивируемых видов широко применяются регуляторы роста растений, которые относятся к категории химических средств защиты растений и являются сильным средством управления онтогенезом растений. Следует отметить, что количество используемых средств защиты растений в целом по России возрастает и приводит к увеличению пестицидной нагрузки на почву [1]. По оценкам BusinesStat, за 2018-2022 гг продажи пестицидов в России увеличились на 40%: со 154 до 216 тыс т., что негативно сказывается на экологической обстановке окружающей среды. Регуляторы роста растений обладают разносторонним спектром действия, поэтому их грамотный подбор позволит снизить объемы применения средств защиты растений от вредителей и болезней, приведет к улучшению экологической обстановки и позволит повысить урожайность с/х культур. Поэтому поиск новых эффективных средств, влияющих на рост и развитие растений, является актуальной задачей для аграриев.

Любое производство в идеале должно представлять собой безотходный технологический процесс, что является оптимальным решением как социально-экономических, так и экологических проблем [2]. Поэтому сырьем для получения регуляторов роста растений могут быть, например, различные отходы растительного происхождения [3-5] или отработанные растворы химических производств. Так, в технологическом процессе выделения целлюлозы из мискантуса разбавленным раствором азотной кислоты образуется в 20 раз больше жидкой фазы (побочный продукт), чем целевой твердый остаток [6]. Эти сточные воды содержат различные биологически активные органические и минеральные вещества и могут использоваться в сельском хозяйстве в качестве регуляторов роста растений [7].

Цель работы: изучить влияние нейтрализованного раствора азотной кислоты, полученного после обработки мискантуса, на прорастание семян огурцов и пшеницы.

Материалы и методы исследований

Нейтрализованный гидроксидом аммония раствор азотной кислоты после обработки мискантуса был предоставлен сотрудниками ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск) (далее НРАК) и имел следующий химический состав: сухих веществ – 4,54%, в том числе: нитрата аммония – 2,67%, лигнина – 0,6%, восстанавливающих сахаров – 1,13% (в том числе глюкозы – 0,17%), зольность – 0,14%. Рострегулирующая активность препарата исследована при степенях разбавления 1:100, 1:1000, 1:10000. В качестве контроля использована дистиллированная вода, в качестве раствора сравнения – 2,67%-ный раствор нитрата аммония NH_4NO_3 в тех же степенях разбавления.

Семена выдерживали в соответствующем препарате в течение 2 и 12 ч и раскладывали на двух слоях увлажненной фильтровальной бумаги в подготовленных чашках Петри и наблюдали за процессом прорастания семян в течение 7 дней в соответствии с требованиями ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Опыты проведены в 4-х кратной повторности и обработаны статистически.

Результаты исследования

Экспериментальные данные по влиянию препарата НРАК на биометрические показатели проростков семян пшеницы после их замачивания в течения 2 ч представлены на рисунке 1, после замачивания в течения 12 ч – на рисунке 2.

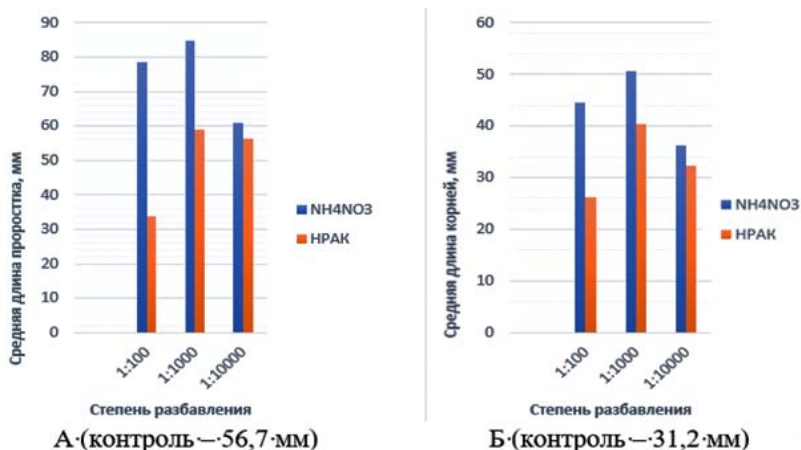


Рис. 1. Влияние различных препаратов на биометрические показатели проросших семян пшеницы сорта Уралсибирская (замачивание 2 ч): а - проростков, б - корней

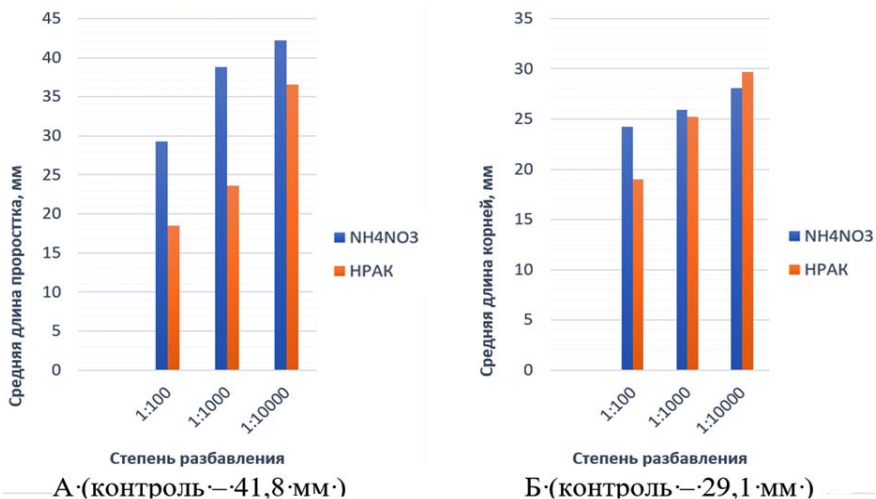


Рис. 2. Влияние различных препаратов на биометрические показатели проросших семян пшеницы сорта Уралсибирская (замачивание 12 ч): а - проростков, б - корней

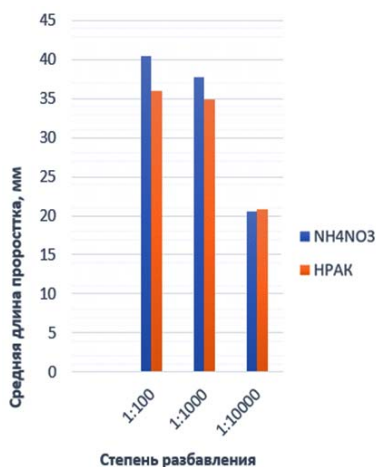
На основе полученных данных, можно сделать вывод, что исследуемый нейтрализованный раствор азотной кислоты после обработки мискантуса (HPAK) проявляет росторегулирующие свойства по отношению к семенам пшеницы Уралсибирская. Максимальное положительное влияние на биометрические показатели (длину проростков и корней) семенного материала изучаемый препарат оказал при степени разбавления 1:1000 и продолжительности замачивания 2 часа. Увеличение продолжительности замачивания семян пшеницы до 12 часов приводит к проявлению ингибирующих свойств препарата.

Экспериментальные данные по влиянию препарата HPAK на биометрические показатели проростков семян огурцов после их замачивания в течение 2 ч представлены на рисунке 3, после замачивания в течение 12 ч – на рисунке 4.

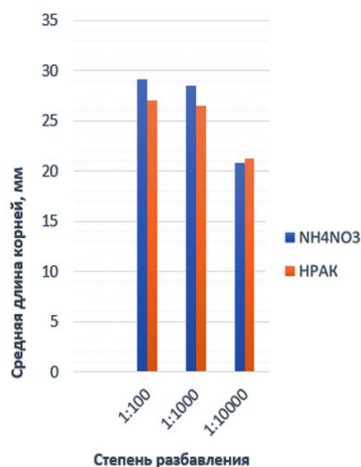
Анализ экспериментального материала, указывает на то, что существенное положительное влияние на биометрические показатели проростков семян огурцов, выдержанных в течение 2 часов, оказал препарат HPAK при степени разбавления 1:100 и 1:1000. Аналогичным образом на прорастание семян влияет замачивание их в растворе сравнения (нитрате аммония) при тех же степенях разбавления.

При более длительном замачивании семян огурцов существенное положительное влияние на биометрические показатели проростков препарат HPAK оказывает при степени разбавления 1:1000. Причем

при этой концентрации наблюдается значительный рост корневой системы, т.е препарат является стимулятором роста ауксинового типа. Раствор сравнения (нитрат аммония) такого эффекта не даёт.

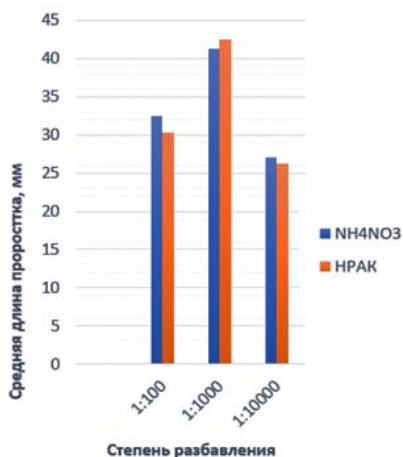


А (контроль – 19,7 мм)

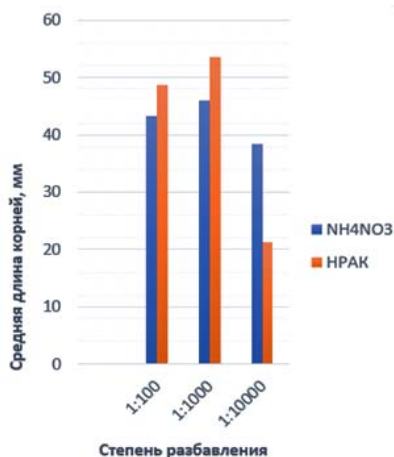


Б (контроль – 21,8 мм)

Рис. 3. Влияние различных препаратов на биометрические показатели проросших семян огурцов сорта Серпантин (замачивание 2 ч): а - проростков, б - корней



А (контроль – 28,3 мм)



Б (контроль – 37,7 мм)

Рис. 4. Влияние различных препаратов на биометрические показатели проросших семян огурцов сорта Серпантин (замачивание 12 ч): а - проростков, б - корней

Заключение

Исследуемый нейтрализованный раствор азотной кислоты после обработки мискантуса проявляет росторегулирующие свойства по отношению к семенам пшеницы и огурцов и может быть рекомендован к применению в сельском хозяйстве при дальнейших успешных испытаниях его в производственных условиях.

Литература

1. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Базарнова Н.Г. Анализ пестицидной нагрузки при возделывании зерновых культур в Алтайском крае // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 1. – С. 175 – 181. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-175-181.
2. Рациональные запатентованные технологии переработки и утилизации твердых промышленных отходов / С. И. Иванков, Л. Я. Шубов, А. В. Троицкий [и др.] // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2022. – № 2. – С. 3-103. DOI: 10.36535/0235-5019-2022-02-1.
3. Kalyuta E. V., Maltsev M. I., Markin V. I., Mashkina E. I. Effect of Biopreparations Obtained From Carboxymethylated Plant Raw Material on the Wheat Growth, Crop Capacity, and Biochemical Parameters of Grain// Russian Journal of Bioorganic Chemistry. – 2022. – Vol. 48. – Iss. 7. – P. 1416–1421. DOI: 10.1134/S1068162022070081.
4. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Машкина Е.И. Влияние препаратов, полученных из карбоксиметилированного растительного сырья на ростовые процессы, урожайность и биохимические показатели зерна пшеницы // Химия растительного сырья. – 2021. – №2. – С. 361–368. DOI: 10.14258/jcrpm.2021029732.
5. Мальцев М.И., Калюта Е.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Влияние препаратов, карбоксиметилированного растительного сырья, на рост и развитие яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 12 (194). – С. 39 – 45.
6. Gismatulina Y.A., Budaeva V.V., Kortusov A.N. [and others]. Evaluation of Chemical Composition of Miscanthus × giganteus Raised in Different Climate Regions in Russia // Plants. – 2022. – Vol. 11. – P. 2791. DOI: 10.3390/plants11202791.
7. Скиба Е.А. Скиба М.А., Пятунина О.И. Раствор азотной кислоты после обработки мискантуса как регулятор роста гороха посевного (*Pisum sativum* L.) In vitro // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – Том 11. – № 3. – С. 413-420. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-3-413-420.

Медь в чернозёме южном при возделывании винограда и черешни

Кучеренко А.В., Бирюкова О.А.

*Южный федеральный университет,
Академия биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского,
Ростов-на-Дону, alkucherenko@bk.ru*

Возделывание виноградного растения и черешни имеет большую ценность, так как плоды этих культур отличаются богатым составом витаминов, минералов и антиоксидантов, которые помогают поддерживать здоровье человека. В связи с необходимостью создания высокопродуктивных и экологически устойчивых ампелоценозов и садовых агроценозов, возрастает роль изучения микроэлементного состава почвы [2, 7].

Обеспечение растений микроэлементами – это важный агроэкологический фактор, который влияет на урожайность и качество продукции в агроценозе. Они играют ключевую роль в росте и развитии растений, а также в их адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды. Недостаток или избыток микроэлементов может негативно сказаться на устойчивости возделываемых культур к различным заболеваниям, поэтому важно поддерживать их оптимальный уровень в почве и вносить удобрения, содержащие необходимые элементы питания. Вместе с другими ключевыми биомикроэлементами (марганец, цинк, бор, кобальт, молибден), которые так необходимы для поддержания всех физиологических и биологических процессов в черешне и винограде, различные формы меди являются важными для мониторинга её содержания и распределения в почвенном профиле [2, 11, 13].

В почвах присутствуют различные формы меди, такие как обменные, водорастворимые, труднорастворимые соли, минералы и комплексные органические соединения. Эти формы могут иметь разную степень доступности для растений и зависеть от многих факторов, включая состав почвы, кислотность и содержание других элементов. Разные виды растений характеризуются избирательностью в накоплении меди, обусловленной биологическими особенностями и разной доступностью элемента в почвах [1, 6, 10].

Медь способствует повышению устойчивости растений к экстремальным температурам и болезням. Её дефицит может быть вызван высоким содержанием карбонатов или органического вещества

в почве, а также щелочной реакцией, которая снижает доступность меди для растений. Недостаток этого элемента может привести к хлорозу, задержке цветения и снижению урожайности. При недостатке этого биомикроэлемента марганец, бор и цинк перестают работать должным образом, что может приводить к различным проблемам у растений. Например, на листьях и плодах деревьев могут появляться бурые пятна, а на виноградных растениях - межжилковый хлороз [10, 14].

Исследования проведены в производственных условиях на базе ОАО «Янтарное» Мартыновского района Ростовской области. Объект исследования – чернозём южный среднесуглинистый на лёссовидном суглинке. Согласно «Полевому определителю почв России» [12] исследуемый чернозём следует отнести к агро-чернозёму текстурно-карбонатному. По Международной реферативной базе почвенных ресурсов (World Research Base) исследованная почва относится к Calcic Chernozems.

Почвенные пробы отобраны согласно ГОСТ Р 58595-2019. Лабораторные исследования почвенных образцов проводили в трехкратной повторности. Для определения подвижных соединений меди в почве использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) с последующим применением атомно – абсорбционной спектроскопии (отношение почвы к раствору 1:10) [9]. Содержание валовых форм соединений изучаемого элемента определяли с помощью рентгено – флуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС - GV» [8].

Аппроксимация экспериментальных данных реализована путем построения диаграммы по исходным данным с последующим подбором подходящей аппроксимирующей функции (линии тренда) [4].

Оценку загрязнения чернозема южного валовыми и подвижными соединениями меди проводили согласно ПДК, установленной в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Внутрипрофильное распределение валовой меди в чернозёме южном под виноградником и черешней характеризуется снижением концентрации по мере увеличения глубины. Средневзвешенное валовое содержание меди в чернозёме южном под ампелоценозом на глубине 0 - 40 см составляет 59,6 мг/кг, уменьшаясь с глубиной до 42,8 мг/кг; под садовым агроценозом – 58,2 мг/кг, снижаясь до 41,5 мг/кг (рис. 1). Накопление меди в гумусово-аккумулятивном горизонте является характерной чертой её распределения в почвенном профиле чернозёмов, что отражает процессы биоаккумуляции и антропогенного воздействия [3, 5, 6].

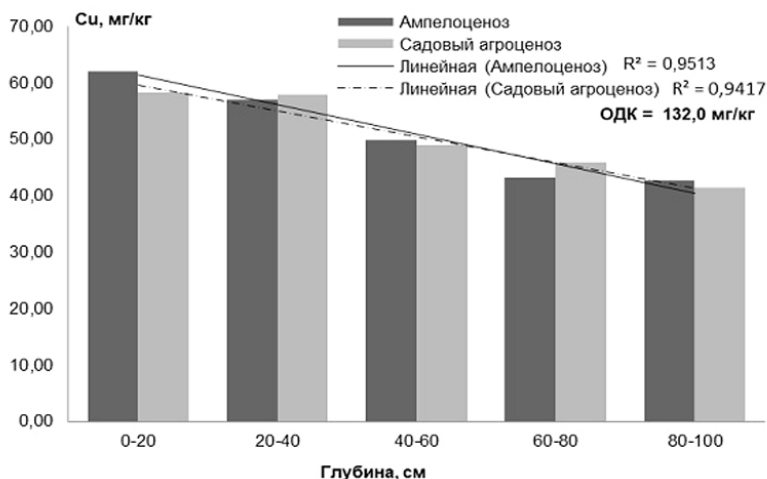


Рис. 1. Профильное распределение валовой Си в чернозёме южном под виноградом (ампелоценоз) и черешней (садовый агроценоз), мг/кг почвы

Для представления полученных данных была использована аппроксимирующая функция, также называемая линией тренда. Коэффициент детерминации для валовой меди для ампелоценоза составляет 0,95, для садового агроценоза – 0,94 (рис.1), что говорит об адекватном описании явления ($0,75 \leq R^2 < 0,95$).

Изучение подвижной меди в почвах является основой для определения эффективности применения удобрений и средств защиты растений. Установлено, что в исследуемых агроценозах с увеличением глубины происходит постепенное снижение содержания подвижной формы меди: в ампелоценозе с 0,27 мг/кг, снижаясь на 30,0% вниз по профилю до 0,19 мг/кг, в садовом агроценозе с 0,26 мг/кг до 0,17 мг/кг на 35,0%. (рис. 2). Коэффициенты детерминации подвижных форм Си под ампелоценозом ($R^2 = 0,92$) и садовым агроценозом ($R^2 = 0,90$) указывают на удовлетворительную аппроксимацию ($0,75 \leq R^2 < 0,95$) (рис. 2).

Согласно группировке почв по содержанию подвижных форм микроэлементов обеспеченность чернозема южного медью под виноградником низкая (0,11–0,30 мг/кг), под черешней – средняя (0,2 - 0,5 мг/кг) [1, 3].

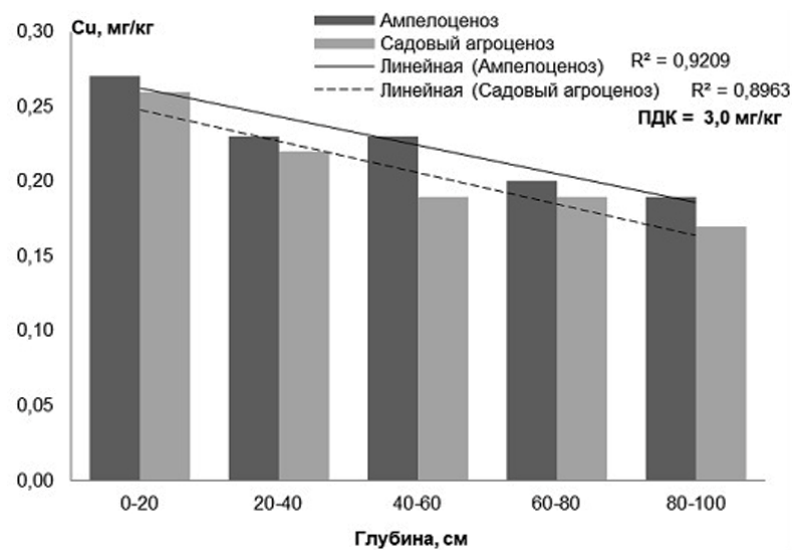


Рис. 2. Профильное распределение подвижной Cu в чернозёме южном под виноградом (ампелоценоз) и черешней (садовый агроценоз), мг/кг почвы

Данное обстоятельство связано с её выносом при отсутствии сбалансированного восполнения микроудобрениями. По обобщенным данным, с 1 га многолетними деревьями черешни поглощается около 16 г меди, виноградным растением – 61 - 115 г [2, 10].

В зависимости от концентрации меди её можно отнести как к биомикроэлементам, так и потенциально токсичным металлам 2 класса опасности. Ориентировочно допустимая концентрация валовой меди составляет 132,0 мг/кг, для подвижных соединений этого элемента предельно допустимая концентрация равна 3,0 мг/кг. Превышений гигиенических нормативов по содержанию подвижных и валовых соединений меди по всему профилю чернозёма южного не было обнаружено.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание и распределение валовых и подвижных соединений меди под виноградом и черешней в черноземе южном характеризуется её активным накоплением в гумусо-аккумулятивных горизонтах.

Установлено, что общее содержание меди в чернозёме южном при возделывании винограда и черешни находится, практически, на одном уровне. Содержание подвижных соединений зависит от особенностей выращивания полевых культур.

Обеспеченность чернозема южного подвижными формами меди низкая (виноградник) и средняя (черешня), что связано с активным выносом культурами в период формирования урожая и указывает на необходимость внесения в почву микроудобрений, содержащих медь.

Содержание валовых и подвижных соединений Си в чернозёме южном соответствует региональному уровню и не превышает предельно допустимых концентраций, что имеет важное агроэкологическое значение.

Литература

1. Гончаренко Т.П., Жицкая Л. И., Хоменко Е. М. Агрохимическая оценка обеспеченности чернозёмов типичных подвижными формами микроэлементов // Евразийский Союз Ученых. 2016. №3-5 (24).
2. Гуляева А. А. Вишня и черешня. ВНИИСПК. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. 2022. 90 с.
3. Даду К., Григель Г., Чебану В., Кухарский М. Медь и виноград // Pomicultura, Viticultura și Vinificația. 2018. 3(75): 2-9.
4. Курзаева Л.В. Регрессионный анализ в электронных таблицах. //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. 12 (7): С. 1234-1238.
5. Кучеренко А.В., Бирюкова О.А., Медведева А.М., Шерстнев А.К. Содержание и распределение Мп и Си в чернозёме южном при различном сельскохозяйственном использовании // Труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В.В. Докучаева. Тула: Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого. 2021. С. 143-145.
6. Лукин С.В., Четверикова Н.С. Микроэлементы в чернозёмах: содержание, биогенная миграция, нормирование // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. №6. С. 11-14.
7. Малтабар Л.М., Шабанова И.В., Гайдукова Н.Г. Комплексные микроудобрения в виноградарстве //Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2006. 4: 103–113.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.ЦИНАО. 1992. 61с.
9. Минеев В. Г. Агрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС». 2004. 720 с.
10. Минеев В.Г. Сычев В.Г. и др. Практикум по агрохимии. Москва. МГУ. 2001. 689 с.

11. Михайлова, Л.А. Удобрение и диагностика минерального питания плодово-ягодных культур: учебное пособие / Л.А. Михайлова, М.Г. Субботина, М.А. Алешин. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2019. 247 с.
12. Полевой определитель почв России / Российская акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, О-во почвоведов имени В.В. Докучаева. – Москва : Почвенный ин-т В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
13. Роева, Т. А. Минеральное питание как фактор продуктивности и качества плодов вишни, черешни // Современное садоводство. 2018. № 2(26). С. 48-69. DOI 10.24411/2312-6701-2018-10208.
14. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород / М-во с.-х. РФ, ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 132 с.

Из опыта применения препаратов, полученных на основе карбоксиметилированного растительного сырья, в производственных условиях Алтайского края

Мальцев М.И., Калюта Е.В., Маркин В.И.

Алтайский ГАУ, Барнаул, maltsevmi@mail.ru

Создание эффективных химических и биологических регуляторов роста растений сегодня относят к актуальному направлению научного поиска – нанотехнологиям, поскольку они в маленьких дозах влияют на ростовые процессы и могут защитить растения от различных стрессов.

Алтайский край является крупным сельскохозяйственным регионом Западной Сибири. Территория Алтайского края весьма разнообразна по природно-климатическим условиям, поэтому при разработке технологии применения стимуляторов роста требуется дифференцированный подход. Подбор доз и способов внесения инновационных препаратов, которые бы в полной мере использовали биоклиматический потенциал растений – это комплексная задача. Её решение связано с разработкой и внедрением технологий, учитывающих зональные почвенно-климатические особенности и материально-технические возможности.

Одними из перспективных регуляторов роста являются препараты, полученные химическим модифицированием (карбоксиметилированием) различных растительных остатков (например, древесных опилок, лузги подсолнечника, половы овса) [1 - 2]. Их биологическая активность показана в лабораторных и полевых условиях [3 - 4]. В лабораторных условиях установлено, что по росторегулирующей активности они не уступают широко используемым в сельском хозяйстве торфо-гуминовым удобрениям «Флора-С» и активатору роста и развития на основе хитозана и янтарной кислоты JOY [5]. Действующим веществом является карбоксиметилированный лигнин, который придает препаратам свойства регулировать рост растений по ауксиновому типу.

В данной работе приводятся результаты испытания в производственных условиях препарата, полученного на основе натриевой соли карбоксиметилированных опилок древесины сосны (препарат с химическим названием NaКМД или Эко-Стим).

Цель работы – изучить росторегулирующую активность препарата NaКМД в производственных условиях разных почвенно-климатических зон Алтайского края.

Производственный эксперимент по определению влияния препаратов на рост и развитие пшеницы проводили в условиях АО «Кипринское» Шелаболихинского района, ООО «Вектор» Калманского района и с. Брусенцево Усть-Пристанского района Алтайского края. Действие препарата NaКМД изучали в виде водного раствора с концентрацией 1,5%. (Расчётная доза внесения – 150 г препарата на 1 т зерна, на 10 л воды). Данным препаратом обрабатывали семена пшеницы в день посева. В качестве сравнения в разных вариантах опыта использовали препарат Барьер-Колор или смесь Стингер КС + гумат калия. Площадь опыта 10 га.

Результаты исследования

Согласно агроклиматическому районированию Алтайского края территории землепользования АО «Кипринское» Шелаболихинского района и ООО «Вектор» Калманского района входят в Приобскую природно-экономическую зону. Это преимущественно открытая лесостепь левобережья Оби. Климат Приобской сельскохозяйственной зоны характеризуется как резко континентальный с умеренно теплым, чаще засушливым летним периодом и холодной зимой.

Территория землепользования ООО «Вектор» Калманского района расположена в зоне черноземов, подзоне обыкновенных черноземов умеренно-засушливой и колючной степей, в районе чернозёмов обыкновенных малогумусных маломощных, черноземов карбонатных и смытых.

Характерной особенностью территории АО «Кипринское» является холмисто-увалистый рельеф, наличие склонов значительной длины и крутизны. Основу почвенного покрова составляет чернозем выщелоченный, незначительная площадь занята серыми лесными почвами, луговыми и лугово-черноземными.

Земельные угодья с. Брусенцево Усть-Пристанского района по природно-климатическим условиям входят в Приалтайскую зону, которая находится в южной остепнённой части края, граничит с предгорьями Алтая. Климат тёплый, но недостаточно увлажнённый. Основную часть территории занимают обыкновенные чернозёмы [6].

В результате изучения биологического препарата NaКМД в качестве регулятора роста установлено, что он оказывает положительное влияние на рост, развитие и урожайность яровой пшеницы в разных природно-климатических условиях. Препарат способствовал более мощному кущению пшеницы (рисунок 1а), что закономерно привело к увеличению урожайности зерновой культуры (рисунок 1б, табл. 1). Фенологические наблюдения за растениями в условиях АО

«Кипринское» и ООО «Вектор» показали, что из семян пшеницы, обработанных изучаемым препаратом NaКМД, развиваются растения с вегетативной частью, масса которой в воздушно-сухом состоянии на 29,4-31,2% больше по сравнению с контролем.

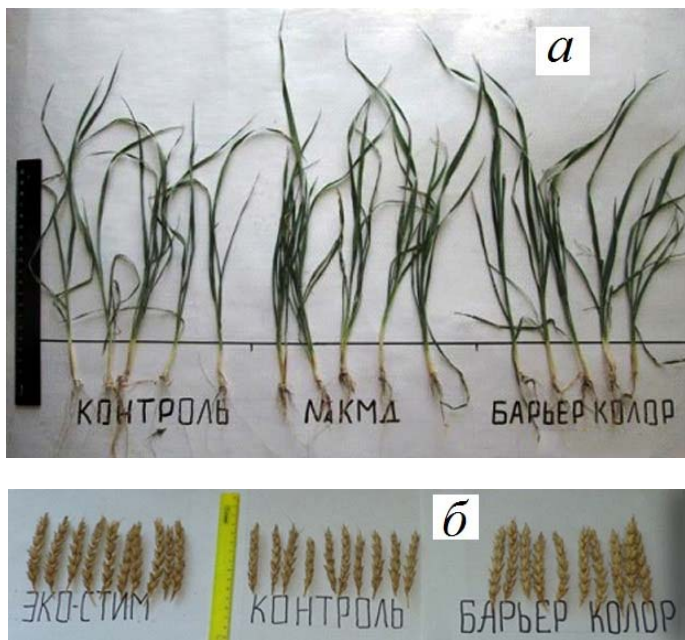


Рис. 1. Состояние посевов пшеницы в фазу кущения в условиях АО «Кипринское» (а) и внешний вид колосьев в фазу полной спелости (б)

1. Урожайность яровой пшеницы Омская 36 по вариантам опыта в условиях АО «Кипринское» и ООО «Вектор»

Вариант	Условия	Препараты	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности, %
1	АО «Кипринское»	Контроль	1,61	-
		NaКМД	1,95	21,1
		Барьер Колор	1,79	11,2
		НСР ₀₅	0,17	
2	АО «Кипринское»	Контроль	1,02	-
		NaКМД	1,22	20,0
		Стингер КС, + гумат калия	1,15	12,7
		НСР ₀₅	0,19	
3	ООО «Вектор»	Контроль	1,92	-
		NaКМД	2,41	25,5
		НСР ₀₅	0,28	



Рис. 2. Внешний вид колосьев пшеницы Омская 36 в фазу полной спелости в условиях АО «Кипринское» (а) и в условиях ООО «Вектор» (б)

В результате предпосевной обработки семян препаратом NaKMD на полях АО «Кипринское» получена достоверная прибавка урожайности 0,20-0,34 т/га (20-21%), на полях ООО «Вектор» 0,49 т/га (25,5%).

Предпосевная обработка семян препаратом NaKMD в условиях с. Брусенцево Усть-Пристанский района привела к увеличению количества зерен в колосе (рис. 3) и достоверному повышению урожайности пшеницы на 0,42 т/га (24%) (табл. 2).



Рис. 3. Внешний вид колосьев пшеницы Уралсибирская в фазу полной спелости в условиях с. Брусенцево Усть-Пристанского района

*2. Урожайность яровой пшеницы Уралсибирская в условиях с. Брусенцево
Усть-Пристанский района*

Вариант	Средняя масса зерна с одного колосе, г	Среднее количество зерен в колосе, шт	Урожайность,			
			сноповой метод		метод прямого комбайнирования	
			т/га	%	т/га	%
Контроль	4,06	22,2	1,87	-	1,72	-
NaКМД	5,68	31,6	2,45	31,0	2,14	24,4
НСП ₀₅			0,18		0,22	

Заключение

Предпосевная обработка семян пшеницы водным раствором биопрепарата на основе карбоксиметилированных опилок древесины сосны оказала положительное влияние на ростовые процессы культуры в производственных условиях разных почвенно-климатических зон Алтайского края. Прослеживалась активизация роста и развития пшеницы в первые фазы, от прорастания зерна (появление зародышевых корней), до формирования более мощного кушения культуры. Изучаемый препарат способствовал повышению урожайности пшеницы на 20 - 30%.

Литература

1. Bazarnova N.G., Markin V.I., Katrakov I.B., Kolosov P.V., Kalyuta E.V., Cheprasova M.Y. Methods of obtaining lignin-carbohydrate compounds from chemically modified plant raw materials // Russian Journal of General Chemistry. – 2012. – Vol. 82, – N5. – Pp. 947-954. DOI: 10.1134/S1070363212050271.
2. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Применение инновационных препаратов Эко-Стим в качестве регуляторов роста сельскохозяйственных культур // Химия растительного сырья. – 2016. – №2. – С. 145-152. DOI: 10.14258/jcprm.2016021296.
3. Мальцев М.И., Кароннов А. Калюта Е.В. и др. Исследование карбоксиметилированного растительного сырья в качестве регуляторов роста яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – №5. – С. 12–17.
4. Мальцев М.И., Калюта Е.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Влияние препаратов, карбоксиметилированного А., растительного сырья, на рост и развитие яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – №12. – С. 39-45.

5. Микушина И.В., Маркина А.В., Маркин В.И. Изучение росторегулирующей способности карбоксиметилпроизводных растительного сырья, полученных механохимическим способом // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы VII всерос. конф. Барнаул, 2017. С. 97-99.

6. Важов В.М. Особенности почвенно-климатических ресурсов Алтая и география *Fagorum esculentum* Moench // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 1. – С. 174-177.

Анализ урожайности зерна сои в зависимости от почвенных условий и структурного состояния почв

Нагорных А.В., Долгополова Н.В.

ФГБОУ ВО Курский ГАУ, Курск,

nagornih89@icloud.com,

dunaj-natalya@yandex.ru"ru

Повышение продуктивности сельскохозяйственного производства за счет интенсификации и широкого внедрения перспективных сортов и гибридов позволит обеспечить растущее население необходимыми продуктами питания в достаточном количестве, а перерабатывающую промышленность сырьем. Одним из основных путей увеличения продуктивности является химизация, основанная, на широком использовании макро и микро удобрений, а так же средств химической и биологической защиты растений, как от болезней, так и от вредителей.

Введение

В настоящей работе, представлены результаты опытов заложенных на научно-производственном поле Курского ГАУ. Почвенные и агрохимические исследования выполнены в июле 2022 г. Работы выполнены в соответствии с требованиями действующих нормативных документов Российской Федерации и рекомендаций к ним применительно к сельскохозяйственно-агрохимическим изысканиям.

Цель работы – получение исходных материалов, определяющих особенности природной обстановки, агрохимического состояния почв и характер существующих и планируемых опытных исследований различных сортов и гибридов возделываемых сельскохозяйственных культур по агротехнологиям рекомендуемым АО «Щелково Агрохим». Для реализации цели было проведено изучение эффективности возделывания различных сортов и гибридов сои в условиях научно - производственного поля. Решались следующие задачи:

- оценка агрохимического состояния земель,
- возделывание сельскохозяйственных культур по рекомендуемым технологиям,
- учёт урожая различных сортов и гибридов сои на опытных делянках.

Объекты исследования

Объектами исследования являлись серые лесные почвы научно - производственного поля и различные сорта и гибриды сельскохозяйственной культуры сои.

Методы исследования

В ходе исследований были выполнены следующие виды работ:

- сбор, обработка и анализ опубликованных и фондовых материалов и данных о состоянии природной среды;
- рекогносцировочное агрохимическое обследование территории;
- получение сведений о климатических характеристиках;
- отбор проб почв на агрохимические исследования;
- сбор и анализ урожайности сельскохозяйственных культур.

Визуальное обследование сопровождалось описанием местных природных условий (рельефа, почв, геологии и гидрографии). Отбор проб почв на химические анализы, осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору почв, ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора проб и подготовки проб для химического анализа, ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. Лабораторные исследования проб почв на химические показатели проводились «Курской областной агрохимической лабораторией». В отобранных пробах определялись следующие агрохимические показатели: органическое вещество, водородный показатель, содержание основных биофильных элементов: азота фосфор и калия, гранулометрический состав почв. А так же проведена обработка и анализ опубликованных литературных источников, касающихся нашей темы [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

В геоморфологическом отношении изучаемый участок относится к водораздельному пространству. Рельеф участка слабоволнистый. Перепады высот на площадке изысканий составляют от 221,13 до 255,95 м. Разность высот составляет 34,82 м. На территории Курского района распространены серые и темно-серые лесные почвы. Для речных пойм характерны пойменные слабокислые или нейтральные почвы. Анализ агрохимической характеристики почв исследуемых участков показал следующее:

Содержание органического вещества в почве всех исследуемых участков опытного поля составляет 2,3% и относятся к слабо гумусированным (2,1-4,0%), по степени кислотности изменяется 4,1 (3 участок), 4,2 (1 участок) и 4,3 (2 участок), что дает возможность

отнести их к сильнокислым (4,1-4,5) почвам. Агрохимический анализ почвенных образцов отобранных на исследуемых участках выявил следующее содержание основных биофильных элементов. Установлено, что содержание азота в почве на всех трех участках варьирует от 111 мг/кг (2 участок) и 119 мг/кг (1 участок) до 128 мг/кг (3 участок), что соответствует низкому содержанию азота в почве (101-150 мг/кг). Содержание подвижного фосфора в почве не одинаково и составляет на 1 участке -148 мг/кг, 2 участке – 131 мг/кг и 3 поле- 125 мг/кг, что соответствует как повышенному содержанию (101-150 мг/кг). Обеспеченность обменным калием почв исследуемых полей широко варьирует от повышенного (81-120 мг/кг) 2 поле (103 мг/кг) до высокого (121-160 мг/кг) на 1 поле (147 мг/кг) и 3 поле (135 мг/кг).

Содержание серы в почве всех исследуемых полей низкое (< 6 мг/кг) 1 поле – 0,8 мг/кг, 2 поле – 1,6 мг/кг и 3 поле – 1,6 мг/кг. Как показал агрохимический анализ полей, плодородие почв исследуемых участков определяется лимитирующими почвенными факторами: сильнокислой реакцией, слабой гумусированностью и низким содержанием азота. Гидролитическая кислотность серой лесной почв 5,07 мг-экв на 100 г почвы. Серые лесные почвы имеют кислую реакцию в верхних горизонтах, степень насыщенности основаниями составляет 77,23%. Сумма поглощенных оснований (Ca + Mg) составляет 17, 24 мг-экв на 100 г почвы. Содержание микроэлементов в верхнем пахотном слое в среднем составляет: Mn – 3,99 мг/кг почвы, Cu – 0,03 мг/кг почвы, Zn – 0,13 мг/кг почвы, Co – 0,03 мг/кг почвы S – 0,33мг/кг почвы. Серые лесные почвы обладают неблагоприятными водно-физическими свойствами – слабой оструктуренностью и заметной распыленностью пахотного слоя, что ведет к формированию низкой скорости инфильтрации (0,50-0,061 мм/мин). В условиях сильных летних дождей (а особенно ливней) атмосферные осадки не в состоянии поглотится почвой и наблюдается плоскостной смыв верхних (самых плодородных слоев почв), а также развитие линейной эрозии почв. Главными мероприятиями, направленными на повышение их сельскохозяйственной ценности, являются известкование, систематическое внесение органических и физиологически нейтральных, а лучше щелочных минеральных удобрений, применение комплексных минеральных удобрений содержащих микроэлементы, а также углубление пахотного горизонта, широкое использование сидеральных удобрений и травосеяние. Для оценки агрохимического состояния на площадке изысканий в 16 га было заложено 16 точек. Посев сои произвели 6 мая 2022 г. Норма высева 120 кг/га. Произведено внесение почвенного гербицида Ацетол – про на опытных делянках сои в дозе

3 л/га с расходом 150 л/га. 17 июня проведена обработка сои комплексом препаратов: Гейзер – 6 л, Купаж – 20г, Сатилит 400 г, в расчете на 300 л воды. Проведена обработка поля 20 июля 2022г., следующими препаратами: Биостим – 2 л/га, Ультрамаг Бор - 1 л/га, Ультрамаг Молибден – 1 л/га, Винтаж – 0,8 л/га, Эсперо – 150 г/га.

Уборку сои проводили 17 октября 2022 г. В таблице представлены результаты проведенного исследования.

1. Урожайность зерна сои (2022)

№ п.п.	Сорт, гибрид	Вес зерна, кг	Площадь, м ²	Урожайность, ц/га
1	Ланта	380	1890	20
2	Фарта	420	1890	22
3	СК Альта	400	1890	21
4	Командор	360	1890	19
5	СК Дока	380	1890	20
6	Сенатор	340	1890	18
7	Навигатор	360	1890	19
8	СК Элана	490	1890	26
9	Лири	530	1890	28
10	Амфор	450	1890	24
11	СК Уника	490	1890	26
12	Бинго	470	1890	25
13	Фавор	510	1890	27

Анализ урожайности зерна сои на опытных делянках широко варьирует от 18 ц/га до 28 ц/га. Минимальные значения показал Сенатор – 18 ц/га, Командор и Навигатор по 19 ц/га. Такие низкие урожайности сои мы связываем с локальными массовыми вспышками вредителя лугового мотылька, которые наблюдались именно на этих опытных делянках и с некоторым запозданием (неблагоприятные погодные условия) их ликвидации путём обработки инсектицидом. Максимальную урожайность показали Лири – 28 ц/га, Фавор – 27 ц/га. При средней урожайности сои по Курской области 22 ц/га, остальные сорта и гибриды наших опытных делянок в основном превышали этот показатель. Следует отметить, что при рекомендуемой технологии выращивания сои Агрохим Щелково есть потенциал получения более высоких урожаев. Соя не любит кислых почв. Клубеньковые азотфиксирующие бактерии начинают работать при pH среды выше 5,5. Проведенное агрохимическое обследование почв опытных делянок в 2022 году выявило, что почвы по степени кислотности изменяются – pH 4,1 (3 участок), pH 4,2 (1 участок) и pH 4,3 (2 участок), что дает

возможность отнести их к сильноокислым (рН 4,1 - 4,5) почвам. Поэтому соей не был полностью использован биопотенциал клубеньковых бактерий. Для раскисления почв, необходимо применять мелиоранты (известь, мел, дефека́т).

Выводы

1. Как показал агрохимический анализ плодородие почв исследуемых участков определяется лимитирующими почвенными факторами: сильноокислой реакцией (рН 4,1 - 4,3), слабой гумусированностью (2,3%) и низким содержанием азота (111 - 128 мг/кг).

2. Содержание основных микроэлементов в верхнем пахотном слое в среднем составляет: Мп – 3,99 мг/кг почвы, Си – 0,03 мг/кг почвы, Zn – 0,13 мг/кг почвы, Со – 0,03 мг/кг почвы S - 0,33мг/кг почвы.

3. Анализ урожайности зерна сои на опытных делянках широко варьирует от 18 ц/га до 28 ц/га. Соя не любит кислых почв. Клубеньковые азотфиксирующие бактерии начинают работать при рН среды выше 5,5. Проведенное агрохимическое обследование почв опытных делянок в 2022 году выявило, что почвы по степени кислотности изменяются – рН 4,1 (3 участок), рН 4,2 (1 участок) и рН 4,3 (2 участок), что дает возможность отнести их к сильноокислым (рН 4,1-4,5) почвам. Поэтому соей не был полностью использован биопотенциал клубеньковых бактерий.

Литература

1. Долгополова Н.В. К вопросу о проблеме агроэкологии в агроландшафте и в биосфере // Региональный вестник. 2018. № 1 (10). С. 2.
2. Нагорных А.В. Совершенствование технологии химической мелиорации в посевах сои в курской области // В сборнике: Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. сборник статей по материалам XXI Международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия. 2023. С. 159-162.
3. Долгополова Н.В., Малышева Е.В., Нагорных А.В. и др. Об агрофизических свойствах почвенного слоя // Воронина А.А., Ковынев Б.М. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 18-25.
4. Ишков И.В., Комарицкая Е.И. Влияние обработки семян и посевов биопрепаратами на продуктивность сои в условиях темно-серых лесных почв Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 52-54.

5. Долгополова Н.В., Широких Е.В. Изменение запаса органического вещества чернозема типичного в зависимости от вида, эродированности и местоположения угодий // Региональный вестник. 2015. № 1. С. 27-30.
6. Недбаев В.Н., Малышева Е.В. Гумусовое состояние почв центрального Черноземья и пути повышения его содержания // Недбаев В.Н., Малышева Е.В. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 94-97.
7. Долгополова Н.В., Акименко А.С. Основные элементы в севообороте и оптимальные технологии при выращивании яровых зерновых в агроландшафте ЦЧЗ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1. С. 11-15.
8. Пигорев И.Я., Привало О.Е., Журавлев А.А. Анализ производства агроценозов в условиях курской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 1 (21). С. 184-185.
9. Долгополова Н.В., Пигорев И.Я. Роль плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии // В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий. Материалы XX Международной научно-производственной конференции. 2016. С. 3-4.



4. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ



Биодинамика чернозёмов выщелоченных в агроценозах кукурузы и бессменного чистого пара в условиях длительного опыта

Стулин А. Ф.¹, Стахурлова Л.Д.²

*¹ - Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы,
Воронеж, Россия; E-mail: stulin_af@mail.ru*

*² - Воронежский государственный университет,
Воронеж, Россия; E-mail: stakhurlova@rambler.ru*

Современные технологии выращивания кукурузы предполагают максимальное насыщение севооборота этой культурой вплоть до перехода к монокультуре, поскольку она по своим биологическим особенностям (С4-тип фотосинтеза) устойчива к возделыванию в монокультуре [1 - 3]. Самые длительные в мире полевые опыты с кукурузой, выращиваемой в монокультуре и севообороте, находятся в Илинойском университете (США) на опытных полях Морроу с 1876 г. и Санборн с 1888 г. В европейских странах подобные опыты закладывали с 1946 г., а в Китае – с 1979 г.

Цель нашей работы – оценить влияние длительного применения удобрений, севооборота и монокультуры на агрохимические, биологические показатели черноземов выщелоченных и продуктивность кукурузы.

Методика

Исследования проводили в длительном стационарном полевом опыте по реестру Геосети в Воронежском филиале ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Десятипольный севооборот (50% зерновых, 20% технических и 30% кормовых культур) в натуре развернут на трех полях и одном поле с монокультурой кукурузы, с площадью каждого поля 1,1 га. Кукуруза в монокультуре возделывается с 1960 г. Это самый длительный опыт с монокультурой кукурузы не только в Российской Федерации, но и в ближнем зарубежье.

Минеральные удобрения (в форме Наа, Рсг, Кх) вносят ежегодно осенью под вспашку по схеме, представленной в таблице 4. Посевная площадь делянки составляет 269,5 м², учетной – 192,5 м². Повторность трехкратная. Агротехника районированных гибридов кукурузы была общепринятой для зоны Центрального Черноземья. Урожайность учитывают методом сплошного взвешивания.

Объект настоящих исследований – чернозём выщелоченный, среднемощный, малогумусный, тяжелосуглинистый, на покровной карбонатной глине. На момент закладки опытов в пахотном слое почвы содержалось: гумуса 5,6%, общего азота 0,24%, фосфора 0,15%, калия 2,0%, рНвод. 6,6 ед.; сумма поглощенных оснований – 38,4 ммоль (+)/100 г почвы, степень насыщенности основаниями превышала 90%.

Анализ почвенных образцов проводили по общепринятым методам: содержание гумуса определяли по Тюрину, обменные основания (кальций и магний) – комплексонометрически, рН водной вытяжки – потенциометрически, гидролитическую кислотность – по Каппену [4]. Ферментативную активность почвы определяли по методам, обобщенным Ф.Х. Хазиевым [5], скорость разложения целлюлозы – аппликационным методом, фитотоксичность почвы – методом биотеста, предложенного В.С. Гузовым, и выражали в процентах ингибирования всхожести семян и роста корней проростков тест-культуры (кресс-салата) [6].

Обсуждение результатов

Сельскохозяйственное использование черноземов в течение 55 лет привело к изменению содержания гумуса. В отсутствие растительных остатков, как основного источника формирования гумусовых веществ (бессменный чистый пар), и при их незначительном поступлении при бессменном выращивании кукурузы на удобрённом фоне количество гумуса уменьшилось более чем на 0,6% в пахотном слое (табл. 1). Внесение полного минерального удобрения по 60 кг/га в условиях монокультуры сдерживало потери гумуса. Увеличение дозы азота с 60 до 120 кг/га не способствовало повышению его количества. Возделывание кукурузы в севообороте без удобрений также снижало содержание гумуса. При внесении N60P60K60 содержание гумуса не отличалось от исходного значения.

В тесной зависимости от гумуса находится состояние почвенно-поглощающего комплекса ППК ($r = 0,76$). Длительное сельскохозяйственное использование черноземов привело к снижению суммы поглощенных оснований, особенно в бессменном пару и при выращивании кукурузы в монокультуре. Удобрения сдерживали трансформацию ППК, однако актуальная и гидролитическая кислотность увеличились особенно в почве с двойной дозой азотного компонента, что повлекло за собой снижение степени насыщенности почвы основаниями. В то же время удобрения и севооборот улучшили степень обеспеченности почвы элементами минерального питания.

1. Изменение показателей плодородия пахотного слоя черноземов выщелоченных

Вариант	Гумус, %	рНвод.	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Hr	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
			ммоль/100г				
Бессменный чистый пар							
Без удобрений	4,92	6,0	32,6	5,24	4,8	8,2	16,3
Кукуруза в монокультуре							
Без удобрений	4,98	5,9	34,9	5,50	3,4	4,4	15,7
N60P60K60	5,37	5,6	37,2	6,00	4,7	9,0	20,6
N120P60K60	5,25	5,3	37,5	6,21	5,5	8,9	20,3
Кукуруза в севообороте							
Без удобрений	5,25	5,9	36,6	5,20	4,6	5,8	17,4
N60P60K60	5,63	5,7	37,8	5,57	6,3	11,6	21,1
N120P60K60	5,52	5,2	38,0	5,83	8,0	11,3	20,7

Чернозёмы выщелоченные характеризовались низкой целлюлозо-разлагающей активностью (табл. 2).

2. Биологическая активность черноземов выщелоченных

Вариант	Скорость разложения клетчатки, %	Протеаза, мг глицина/г почвы за 24 ч	Полифенол-оксидаза	Пероксидаза	Кгум.
			мг пурпурогалина/г почвы за 24 ч		
Бессменный чистый пар	10,2	0,10	7,02	9,29	0,76
Кукуруза в монокультуре					
Без удобрений	12,6	0,17	6,58	5,96	1,10
N60P60K60	15,6	0,18	8,70	7,60	1,14
N120P60K60	18,7	0,18	10,85	8,80	1,23
Кукуруза в севообороте					
Без удобрений	15,9	0,18	12,37	9,08	1,36
N60P60K60	19,7	0,24	13,75	9,22	1,49
N120P60K60	22,9	0,25	14,63	11,43	1,28

В бессменном чистом пару скорость разложения клетчатки составляла всего 10%, что коррелировало с содержанием гумуса ($r = 0,76$). Удобрения, внесенные под кукурузу независимо от места ее выращивания, повышали активность разложения клетчатки по сравнению с бессменным паром в 1,5 - 2,3 раза, что объясняется дополнительным поступлением пожнивно-корневых остатков в почву.

Установлена тесная связь между содержанием гумуса и активностью ферментов азотного обмена. Так в почве бессменного пара с самым низким содержанием гумуса отмечена и самая низкая активность протеаз – 0,1 мг глицина/г почвы за 24 ч. При выращивании

кукурузы в монокультуре без удобрений активность протеаз была в 1,7 раза выше, чем в пару. Ежегодное внесение удобрений в дозе N60P60K60 и севооборот активизировали протеолитические процессы по сравнению с бессменным паром. Увеличение дозы азота в 2 раза (вар. N120P60K60) не способствовало усилению метаболических процессов.

Соотношение активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы представляет собой условный коэффициент гумификации ($K_{гум.}$), с помощью которого оценивают интенсивность процесса минерализации. Если величина $K_{гум.} > 1$, то считается, что трансформации гумусовых веществ не происходит, верно и обратное утверждение. В варианте с бессменным паром преобладали процессы деструкции молекул гумуса ($K_{гум.} < 1$). Выращивание кукурузы в монокультуре на неудобренном фоне приводит к снижению содержания гумуса, но его трансформация не выявлена: $K_{гум.}$ был выше единицы. Систематическое внесение полного минерального удобрения и севооборот стимулировали процессы гумификации, во всех вариантах $K_{гум.}$ составлял 1,28 - 1,49.

Многолетняя распашка и отсутствие растительного покрова (бессменный чистый пар с 1960 г.) стали причиной глубокой трансформации микробного комплекса почвы в сторону токсинообразователей. В исследованиях Карауловой Л.Н. [7] на черноземах типичных Курской области в вариантах бессменный пар (30 лет), бессменная озимая пшеница, пятипольный севооборот и некосимая степь установлен количественно-видовой и групповой состав микробиоты, который имеет схожую структуру во всех исследуемых объектах, но существенно различается по общей численности микроорганизмов.

В наших исследованиях в бессменном пару ингибирование всхожести семян кресс-салата составило 67,6% (табл. 3).

Проростки семян были тоньше с незначительными морфологическими отклонениями, однако их длина практически не отличалась по вариантам опыта. Выращивание кукурузы в монокультуре независимо от агрофона вызвало слабый фитотоксикоз почвы. В среднем ингибирование всхожести семян составило 21%. Проростки были крепкими без морфологических отклонений. Главным условием формирования благоприятного фитосанитарного состояния почвы служит севооборот. Во всех вариантах фитотоксикоза почвы не выявлено. Ингибирование всхожести семян отсутствовало или было очень низким. Минеральные удобрения на фоне севооборота стимулировали рост проростков кресс-салата.

3. Ингибирование всхожести семян и длина проростков кресс-салата

Вариант	Всхожесть семян, %	Ингибирование всхожести, %	Длина проростков, мм
Бессменный чистый пар	32,4	67,6	24,3±3,69
Кукуруза в монокультуре			
Без удобрений	73,4	26,6	22,5±2,90
N60P60K60	86,7	13,3	24,5±2,19
N120P60K60	76,4	23,3	25,8±7,09
Кукуруза в севообороте			
Без удобрений	100	0	24,9±0,99
N60P60K60	96,7	3,3	26,6±2,21
N120P60K60	93,4	6,6	29,9±6,19

Результирующим показателем любого агротехнического приема (монокультура, севооборот, удобрения) является их влияние на продуктивность культуры. Варьирование продуктивности кукурузы за время проведения опыта было довольно существенным, что напрямую зависело от погодных условий. В тоже время влияние исследуемых факторов оставалось достоверным. Среднегодовая урожайность зеленой массы кукурузы в варианте без удобрений за 5 ротаций десятипольного севооборота составила 26,2 т/га с колебаниями по годам от 17,4 до 40,7 т/га, в монокультуре в сопоставимые годы с севооборотом 22,1 т/га с варьированием от 16,2 до 30,3 т/га (табл. 4).

4. Влияние длительного внесения удобрений на продуктивность кукурузы в монокультуре и в 10-польном севообороте, среднее за 5 ротаций, т/га

Вариант	Кукуруза в монокультуре		Кукуруза в севообороте		Прирост за счет севооборота	
	зеленая масса	зерно	зеленая масса	зерно	зеленая масса	зерно
Без удобрений	22,1	2,81	26,2	3,42	4,1	0,61
N60	5,2	0,73	4,0	0,73	2,9	0,61
P60	-0,9	-0,04	0,4	0,02	5,4	0,67
K60	1,1	0,01	0,8	0,04	3,8	0,64
N60P60	7,7	1,10	7,4	1,11	3,8	0,62
N60K60	6,7	0,97	4,9	0,84	2,3	0,48
P60K60	1,2	0,10	1,3	0,13	4,2	0,64
N60P60K60	10,1	1,32	8,8	1,29	2,8	0,58
N60P30K60	9,0	1,28	8,1	1,21	3,2	0,54
N60P120K60	9,5	1,29	8,7	1,24	3,3	0,56
N60P60K120	9,6	1,35	8,6	1,21	3,1	0,47
N120P60K60	13,2	1,79	11,5	1,65	2,4	0,47
НСР _{0,05}	2,4	0,32	2,9	0,35		

Примечание: урожайность на контроле без удобрений и прибавки от удобрений

На этом фоне урожайность в севообороте составила в I ротации 24,4, II – 25,8, III – 20,5, IV – 31,5 и V – 25,0 т/га, что выше, чем в монокультуре за эти же годы в I-III ротациях на 15 %, в IV – на 24%, в V – на 25%. Реакция растений кукурузы на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений была одинаковой и не зависела от места ее выращивания. При анализе вклада азота, фосфора и калия в формировании прибавки урожайности кукурузы отмечена ведущая роль азота в ее повышении. Внесение N_{60} повысило урожайность зеленой массы кукурузы в среднем за 5 ротаций в севообороте на 4,0 т/га с колебаниями по ротациям – от 2,1 т/га во второй до 5,4 т/га в четвертой ротации. В монокультуре средняя прибавка была выше на 30%, а колебания по ротациям – от 4,7 т/га в третьей, до 6,8 т/га в четвертой ротации. Приведенные данные указывают, что кукуруза в монокультуре предъявляет повышенные требования в отношении азота.

Многолетние исследования свидетельствуют, что азотные удобрения необходимо вносить совместно с фосфорными и калийными. При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ прирост урожайности почти удваивается по сравнению с N_{60} . В среднем за 5 ротаций прибавка урожайности зеленой массы от внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ повысилась в севообороте на 34%, в монокультуре – на 46%. Снижение дозы фосфора до 30 кг/га, равно как и увеличение ее и калия до 120 кг/га в полном удобрении, не изменяет величину урожая.

Урожайность зерна кукурузы на неудобренном фоне в среднем за годы исследований в севообороте составила 3,42 т/га, с колебаниями по годам от 1,84 т/га в 1993 г., до 5,08 т/га в 2015 г. В монокультуре этот показатель был 2,81 т/га, с колебаниями от 1,63 т/га в 1986 г. до 4,42 т/га в 2015 г. При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ урожайность зерна кукурузы в севообороте в среднем за все годы исследований повысилась на 38%, в монокультуре прирост был несколько большим – 47%. Размах варьирования прибавки урожайности в этом варианте по ротациям севооборота был в пределах 0,97-1,77 т/га, в монокультуре – 1,07-1,84 т/га.

Одинаковая схема внесения удобрений и агротехника при выращивании одного и того же гибрида в севообороте и монокультуре позволяет в сопоставимые годы выяснить роль севооборотного фактора в продуктивности кукурузы. Повышение урожайности кукурузы за счет севооборотного фактора во всех изучаемых вариантах длительного опыта было в пределах 2,3-5,4 т/га зеленой массы, 0,5-0,7 т/га зерна. Преимущество севооборота наблюдалось даже в том случае, когда в сравниваемых вариантах опыта вносили полное минеральное удобрение.

Выводы

В длительно парующей почве и под монокультурой кукурузы снижается содержание гумуса, отмечается тенденция трансформации почвенно-поглощающего комплекса, резко уменьшается скорость разложения клетчатки и активность ферментов почвы, повышается фитотоксичность, о чем свидетельствуют показатели ингибирования всхожести семян кресс-салата. Ежегодное внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ под кукурузу в севообороте благоприятно влияет на плодородие чернозёмов выщелоченных. Однако их длительное применение независимо от места выращивания кукурузы способствует незначительному повышению актуальной и гидролитической кислотности.

В условиях стационарного опыта при возделывании кукурузы в севообороте и монокультуре установлена высокая эффективность полного минерального удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Урожайность зеленой массы и зерна в варианте без внесения удобрений в среднем за 5 ротаций десятипольного севооборота составила 26,2 и 3,42 т/га, в монокультуре – 22,1, и 2,81 т/га. Прибавка от удобрений была 8,8 и 1,29 т/га в севообороте и 10,1, 1,32 т/га в монокультуре. Приросты урожайности зеленой массы и зерна за счет севооборотного фактора по вариантам опыта были в пределах 2,3-5,4 т/га и 0,5-0,7 т/га.

Литература

1. Кошкин Е.А., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. Частная физиология полевых культур. М.: КолосС. 2005. - 344 с.
2. Верховцева Н.В., Романычева А.А. Урожайность кукурузы (*Zea mays* L.) и микробоценоз ее ризосферы в бессменном посеве и севообороте // *Агрохимия*, 2015, № 9. с. 87-101.
3. Plourde J. Evidence of increased monoculture cropping in the Central United States // *Agricult. Environ. Ecosyst.* 2013. № 165. p. 50-59.
4. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – М.: МГУ, 1998. – 272 с.
5. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 334 с.
6. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: МГУ, 1991. – 304 с.
7. Караулова Л.Н. Микробоценоз почв Курской области / Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции 19-21 июня 2019 г. – Белгород: ООО «Принт», 2019. С. 305-310.

Деградация пастбищных угодий и их восстановление на юго-востоке Казахстана

Исаева Ж.Б.

*ТОО «Инновационный Евразийский университет»,
г. Павлодар, zhanetta.aysha@mail.ru*

Введение

В Республике Казахстан сенокосы и пастбища занимают 188,9 млн. га, а их удельный вес в составе сельскохозяйственных угодий в 7,5 раза превышает площадь пахотных земель. В настоящее время около 48 млн. га территории республики деградированы из-за не систематического использования пастбищ и поголовья скота из-за ограничений границ пастбищных территорий. В результате происходит «сбой» пастбищ и резкое снижение продуктивности травостоев. Основные площади деградированных земель, как правило, ограничены населенными пунктами, поскольку большая часть скота используется в частном порядке. В тоже время концентрация домашнего скота на этих землях превращает их в бесплодные участки, потому что они десятилетиями использования без восстановления [1, 2].

Основной причиной опустынивания обширных степных пастбищ является их незапланированное использование в результате постепенного исчезновения растительного покрова, нарушения поверхностного слоя почвы и появления пятен без растительности. Поверхность почвы часто выбивается скотом, что приводит к потере плодородного слоя почвы, её эрозии с появлением большого количества трещин. Пастбища подвержены опустыниванию в результате повреждения пастбищ крупным рогатым скотом, что еще больше усугубляется засухой и ветровой эрозией. Деградация пастбищ выражается в сокращении или исчезновении растительности, особенно кормов для скота. Чрезмерный выпас скота может привести к опустыниванию земель вокруг колодцев и родников в радиусе 1-1,5 км. Основными экономическими последствиями опустынивания и деградациии земель являются снижение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности пастбищ, сокращение поголовья животных и их продуктивности, а также снижение экспортного потенциала сельскохозяйственной продукции. Многочисленные научные исследования и разработки, проведенные на пастбищах в различных природных зонах мира, показали, что пастбища должны эксплуатироваться в экологически доступном режиме, чтобы поддерживать постоянную регенерацию семян и

питательных веществ пастбищ и способность к регенерации кормовых ресурсов на требуемом уровне. Первым экологическим принципом рационального использования пастбищ является соответствие между их природным и возможностями, и количеством пасущегося скота. Нарушение этого принципа негативно сказывается на развитии пастбищного земледелия в целом [3, 4].

Целью нашего исследования было выявить причины деградации пастбищ, потенциал для восстановления, повышение продуктивности естественных угодий при умеренном выпасе скота и увеличение прироста массы у пасущихся животных на сезонных участках.

Объекты и методы исследований

Исследование проводилось на землях крестьянско-фермерского хозяйства «Батыр», расположенного в сельском округе Кенен Кордайского района Джамбульской области. Общая площадь естественных пастбищ составляет 4200 гектаров. Объектом исследования явилось пастбище крестьянского хозяйства «Батыр», расположенное в условиях вертикальной полосы, расположенное в предгорьях – 950 га (почва темно-каштановая), в предгорьях – 1370 га (почва светло-каштановая), в предгорьях – полупустынная зона – 1880 га (почва обычный серозем), животные паслись в этом районе. Исследование проводилось в системе почвы - растения - животные и продукты животноводства.

Обсуждение результатов

На основе проведенных геоботанических исследований в предгорно-полупустынной зоне выделено 3 доминирующих растительных ассоциации: эбелеково-полынный, полынно-эфмеровый и эфмерово-полынный. В предгорно-сухостепной зоне выделено 4 доминирующих растительных ассоциации: типчаково-разнотравную, типчаково-полынно-разнотравную, ковыльно-мятликово-полынную и полынно-типчаковую. В предгорно-степной зоне выделено 6 доминирующих растительных ассоциации: эспарцетово-кострецово-типчаковую, типчаково-мятликово-осочковую, злаково-желтушниковую, эспарцетово-типчаково-мятликово-кострецовую, кострецово-бурачково-ржаной и кострецово-типчаково-эспарцетовую. При ботаническом изучении растительности выявлено, что приаульное пастбище (земли населенного пункта «Кенен») состоит в основном из полыни, этот участок используется скотом круглогодично и бессистемно, поэтому он нами взят, как контрольный вариант. Исходя из результатов геоботанических исследований, проведенных в 2015 году, отгонные пастбища были разделены по срокам использования: 1 участок – весеннего срока использования (май), 2-3 участки - летнего срока использования (июнь-

август) и 4-5 участки – осеннего срока использования (сентябрь-октябрь). На всех этих отгонных участках проводился нормированный выпас подопытных животных, где степень стравливания травостоя составляла до 70% от общей массы.

В 2015 году на приаульном пастбище проективное покрытие почвы травостоем составляло 30-35%. На отгонных участках, т.е. на весеннем пастбище этот показатель был на уровне – 50-55%, на летнем – 60-65% и на осеннем – 70-80%. В конце исследований, в 2017 году, на отгонных участках проективное покрытие почвы растениями повысилось на 8-10% за счет появления молодых побегов произрастающих растений, тогда как на приаульном пастбище этот показатель практически не изменился, т.е. остался на прежнем уровне [5].

В результате исследований установлено, что на отгонных участках, где применялось сезонное использование, показатели объемной массы почвы несколько ниже по сравнению с контрольным вариантом опыта при бессистемном выпасе. Так, показатели объемной массы в 2015 году (начало исследований) в полуметровом слое почвы составляли на участке весеннего использования – $1,34 \text{ г/см}^3$, летнего – $1,26 \text{ г/см}^3$ и осеннего использования – $1,24 \text{ г/см}^3$, то в конце исследований (в 2017 году) они снизились, и составляли соответственно – 1,33; 1,23 и $1,21 \text{ г/см}^3$. На контрольном варианте опыта показатель объемной массы, наоборот, повысился на $0,01 \text{ см}^3$ (в 2015 году – $1,36 \text{ г/см}^3$ и 2017 году – $1,37 \text{ г/см}^3$).

Обеспечение увеличения урожайности естественных травостоев основным и эффективным способом повышения плодородия почв является рациональное использование естественных пастбищ. В связи с этим в ходе исследования мы изучили влияние сезонного использования пастбищ на основные показатели плодородия почв. Однако, по сравнению с началом эксперимента, в конце исследования на сезонных участках следует отметить, что показатели плодородия почвы несколько улучшились после нормализованного выпаса животных, где степень стравливания естественных травостоев составляла не более 70%.

Исследования роста, урожайности естественных травостоев и химического состава растений на пастбищах показали, что наилучшие условия для роста и накопления пастбищ создаются на сезонных пастбищах, согласно наблюдениям, лучший рост и развитие естественных травостоев наблюдается в предгорно-степных зонах, где, в среднем, высота растений достигает 50 см. Самый низкий прирост травы наблюдался в контрольном варианте предгорно-полупустынной зоны, где высота растения в весенний период не превышала отметки –

11,6 см. При этом максимальная высота растения приходится на лето и на 10-15 см выше, чем в весенний период. В осенний период высота естественных травянистых растений уменьшается, потому что в этот период луговые растения заканчивают расти и влияют на рост растений.

Изучение химического состава растений в ассоциации в среднем за 3 года показало, что в предгорно-полупустынных зонах содержание сырого протеина составляло 8,1% весной, 7,3% летом и 6,1% осенью. В предгорно-сухостепной зоне они достигли 8,8; 7,9; 6,8%, а предгорно-степной зоне – 9,1; 8,2; 6,9% соответственно. В контрольном варианте эксперимента содержание сырого протеина составляло 7,4% весной, 6,6% летом и 5,6% осенью. Что касается содержания клетчатки, то здесь наблюдается противоположная тенденция. Так, если в весенний период содержание клетчатки в предгорно-полупустынной зоне составляло 26,4%, предгорно-сухостепной – 24,7%, предгорно-степной – 23,7%, то в конце исследования эти показатели увеличились и находились на уровне 29,1, 27,8 и 28,1% соответственно. В контрольном варианте эксперимента количество клетчатки составляло 25,8% весной, 27,3% летом и 28,7% осенью.

В условиях вертикального зонирования фермерскому хозяйству могут быть предоставлены следующие схемы управления пастбищными ресурсами из-за различий в типе пастбищ, динамике урожайности, питательной ценности пастбищных кормов основных растительных ассоциаций и относительно небольшого расстояния между отдельными пастбищами. Площадь естественных пастбищ в полупустынной зоне была разделена нами на 2 участка с площадью 1000 га и 880 га.

На первом участке с площадью 1000 га, где проводился бессистемный выпас с круглогодичным использованием, как было принято до нашего исследования хозяйством. Организована зимовка, обеспечены электричество, водоснабжение, животноводческие помещения, домики для животноводов, другие элементы инфраструктуры для заготовки сена и пастбищ, стрижка и купка овец. Здесь животные находятся круглый год.

Второй участок с площадью 880 га нами был отведен под весеннее пастбище и опытные животные находятся с апреля до конца мая месяца. После завершения выпаса животные переводятся на летнее пастбище. С середины июня по август месяцы животные находятся на пастбищах предгорной сухой степи, то есть на летнем пастбище. После завершения выпаса на летних злаково-разнотравных пастбищах животные переводятся на участки степных пастбищ – 950 га, где

выпасаются с сентября до конца октября. Здесь выпас продолжается до ноября с последующей кочевкой на зимние пастбища.

Для составления схемы внутрисезонного пастбищеоборота нами была определена кормоёмкость каждого сезонного пастбища, и они разделены на отдельные участки. Поскольку, каждый из изучаемых пастбищных участков имеет одинаковый рельеф, типологию и урожайность, то есть возможность деления этих пастбищных массивов на равные части. Таким образом, пастбище к/х «Батыр» в 2015 и 2016 году нами использовалось посезонно (сезонный пастбищеоборот) и начиная с 2017 года с применением внутрисезонного пастбищеоборота на этих сезонных участках.

Весенние пастбища (880 га) разделены на 3 выпасных поля со своими сроками использования и подвергаются более сильному воздействию выпаса, так как в весенний период растения не полностью доходят до своего развития. Исходя, из реальной ситуации предлагается в весеннем сезонном пастбищеобороте ввести участок «отдых». Через 4 года, при восстановлении массива весенних пастбищ, можно будет перейти на 3-х участковый пастбищеоборот. Сроки использования весенних пастбищ составляют 60 дней (апрель - май), то есть на каждом используемом участке внутрисезонного пастбищеоборота животные содержатся порядка 20 дней. После окончания выпаса опытные животные переводятся на летние пастбища. При средней урожайности весенних пастбищ (данные 2015, 2016 года) - 12,1 ц/га урожай пастбищной массы и используемой площади 880 га - 220 га (отдых) = 660 га, общий кормозапас составит: $12,1 \text{ ц/га} \times 660 \text{ га} = 7986 \text{ ц}$. При потребности одной головы овец 7 кг зеленого корма в день, за 60 выпасных дней на 1 голову необходимо: $7 \text{ кг} \times 60 \text{ дней} = 420 \text{ кг} = 4,2 \text{ ц}$. Следовательно, на участках весенних пастбищ можно содержать: $7986 \text{ ц} : 4,2 \text{ ц} = 1901$ голов овец.

Что касается летнего периода, то пастбища этого сезона поделены на 3 неравных участка (I-500 га; II-500; III-370 га). Это обусловлено структурой землепользования (разрозненность сезонных пастбищных массивов). Нивелироваться этот вопрос будет временем содержания животных. Сроки использования летних пастбищ в условиях хозяйства составляют 115 дней (июнь-июль-август-½ сентября). На участке площадью 500 га (участки I и II) животные содержатся по 45 дней. На участке площадью 370 га (участок III) животных выпасают 25 дней (пропорционально площади). При средней урожайности летних пастбищ 16,3 ц/га общий кормозапас составит: $16,3 \text{ ц} \times 1370 \text{ га} = 22331 \text{ ц}$ зелёной массы. При потребности 1 головы овец пастбищного

корма на 115 дней – 8,1 ц на летних пастбищах можно содержать 2757 голов овец.

Пастбища осеннего цикла использования представлены двумя изолированными участками практически равными по площади (I – 450 га; II – 500 га), которые будут использоваться в 2 срока. Сроки использования осенних пастбищ составляют 75 дней ($\frac{1}{2}$ сентября – октябрь - ноябрь). При этом на участке I (450 га) скот содержится 35 дней, а участке II (500 га) – 40 дней. При средней урожайности осенних пастбищ 19,3 ц/га, общий кормозапас составляет: $19,3 \text{ ц} \times 950 \text{ га} = 18335 \text{ ц}$ зелёной массы. Существующий запас корма позволяет содержать на осенних пастбищах (при потребности 1 головы за 75 выпасных дней – 5,3 ц) 3459 голов овец.

Выводы

При расчёте экономической эффективности берутся только основные затраты на содержание и выпас скота в пастбищный период. Учитывая, что убойный вес тушки составляет 50% живой массы, в опытной группе убойный вес одной тушки составил: бараны-производители 41,540 кг/гол, а в контрольной группе – 43,225 кг/гол, овцематок – 26,130 и 30,140 кг/гол и ягнят текущего года рождения – 15,360 и 19,680 кг/гол. Следует отметить, что при сравнении веса тушки животных опытной и контрольной группы видно, что в опытной группе у баранов-производителей вес тушки больше на 1,685 кг/гол, у овцематок – на 4,010 кг/гол и у ягнят текущего года рождения – на 4,320 кг/гол по сравнению с контрольной группой животных. Стоимость одной тушки (мяса) баранов-производителей в опытной группе составила 54031,0 тенге, а в контрольной – 51925,0 тенге, овцематок – 37675,0 и 32662,0 тенге и ягнят текущего года рождения – 26568,0 и 20736,0 тенге соответственно. При определении экономической эффективности было установлено, что чистая прибыль при реализации мяса баранов-производителей в опытной группе составила 2106 тенге, овцематок – 5013 тенге и ягнятины – 5832 тенге на одну голову.

Таким образом, расчет экономической эффективности показывает, что предлагаемая разработка, то есть применение сезонного использования естественных отгонных пастбищ и в дальнейшем применение внутрисезонного пастбищеоборота – является наиболее эффективным и прибыльным мероприятием по сравнению с бессистемным выпасом скота.

Литература

1. Калдыбаев С., Ержанова К., Ертаева Ж., Абдирахымов Н., Рустемов Б. Современное состояние пастбищ республики Казахстан и пути их эффективного использования. Почвоведение и агрохимия. 2021;(1):14-30.
2. Есполов Т.И., Калдыбаев С., Алимаев И.И., Смаилов К.Ш., Бекмухамедов Н.Э., и др. Рекомендация для проведения мероприятий по борьбе с деградацией пастбищ. – Алматы, 2020. - 41с.
3. Практикум по пастбищному хозяйству /Асанов К.А., Алимаев И.И., Прянишников С.Н. и др. Алматы: Гылым, 1994. - С. 148-149.
4. Demanet, R., et al. "Seasonal variation of the productivity and quality of permanent pastures in Andisols of temperate regions". Journal of soil science and plant nutrition. №15 (1), 2015. - pp. 111-128.
5. Smailov, K., Alimayev, I., Kushenov, K., Issayeva Zh. The use of natural pastures in the conditions of vertical zoning in the southeast of Kazakhstan// Ecology, Environment and Conservation. – Vol. 23 (1), 2017. - pp. 248-254.

RANGELAND DEGRADATION AND THEIR RESTORATION IN THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN

Issayeva Zh.

*Innovative Eurasian university, Pavlodar city, Republic of
Kazakhstan, e-mail: zhanetta.aysha@mail.ru*

Introduction. *The processes of pastures degradation have existed for a long time. Since the mid-1950s natural grassland ecosystem has been in excessive mode of intensive grazing because of large numbers of cattle. Since the mid-1990s, some changes have occurred in the agricultural economy, which positively affected the ecological state of agricultural landscapes. Due to the number of grazed cattle decreased, the anthropogenic load on the soil and vegetation cover also has decreased. But there is still a problem of uneven, local grazing of farm animals.*

Влияние длительного комплексного применения средств химизации на агрохимические свойства почвы Центрального Нечерноземья

Караашаева А.С. - к.с.-х.н.

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127434, Москва, ул. Прянишникова, д. 31А, k.areza@mail.ru*

Аннотация: Многочисленные исследования показывают, что решение весьма сложной проблемы взаимодействия химических средств защиты растений, агроэкологического состояния почв и обеспечение продовольственной безопасности страны можно получить только в строго контролируемых, научно-обоснованных и правильно организованных длительных полевых опытах.

Установлено, что известкование в дозах 10 т/га ежегодно (в течение 20 лет) обеспечила перевод сильнокислой почвы в разряд слабокислой - близкой к нейтральной pH 5,2. Степень насыщенности обменными основаниями составила 90,7 %. Затем отмечалось постепенное снижение количества обменных оснований в почве вследствие их вымывания и выноса с урожаем.

Ключевые слова: севооборот, длительный полевой опыт, окультуривание почвы, последствие удобрений, известкование.

Общепризнанной ролью в формировании устойчивых урожаев сельскохозяйственной продукции считается органическое вещество почвы, однако в этой проблеме все еще остаётся ряд неизученных вопросов. Известно, что почвы Нечерноземной зоны России имеют кислую реакцию среды, поэтому для обеспечения продовольственной безопасности страны, необходимо повышать культуру земледелия внедрив научно-обоснованные системы севооборотов, новые технологические процессы обработки почвы, химическую мелиорацию почв, эффективность удобрений и защиту растений от вредителей, болезней и раннего полегания.

Роль органических удобрений в формировании урожаев изучена достаточно хорошо. Многочисленными исследованиями установлена высокая эффективность совместного применения органических и минеральных удобрений по сравнению с отдельным их внесением [1].

Цель исследований – оценить изменение агрохимических свойств почвы при длительном комплексном внесении средств химизации и минеральных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центрального Нечерноземья.

Методика

Необходимым условием повышения урожайности и качества растениеводческой продукции является экологически и экономически обоснованное применение всех необходимых видов минеральных удобрений, химических мелиорантов, регуляторов роста растений в сочетании с органическими, агротехническими приемами повышения плодородия почвы при правильном чередовании сельскохозяйственных культур и высокой культуре земледелия [2].

Стационарный многолетний опыт заложен в 1959-1961 гг. на Центральной опытной станции в Домодедовском городском округе Московской области. Перед закладкой опыта проведены рекогносцировочные исследования, определены исходные агрохимические свойства почвы. Почва была кислая, бедная питательными веществами, на ней росла многочисленная видовая сорная растительность, урожайность зерновых была на низком уровне. Исходные агрохимические свойства были следующие: pH – 4,3 - 4,5, Нг – 4,6 мг-экв/100 г, S – 8,3 мг-экв/100 г, V – 64,3%, содержание гумуса по Тюрину – 1,58%, P₂O₅ по Кирсанову – 21 мг/кг; K₂O по Масловой – 113 мг/кг почвы. Следовательно, почва имела кислую реакцию и была бедна основными питательными элементами. На такой почве без внесения извести и удобрений невозможно получить высокий урожай зерновых культур. Поэтому был принят шестипольный севооборот плодосменного типа. Система известкования и удобрений – навозно-минеральная, чередованием культур: вика с овсом, озимая пшеница с подсевом клевера, клевер, озимая пшеница, картофель, ячмень с закладкой последовательно с интервалом в 1 год. Повторность на каждом поле 4-х кратная. Площадь делянки в 1-2-й ротациях – 174 м², начиная с третьей ротации – 90 м². Учетная площадь – 24 м².

Результаты и обсуждение

Эффективность применения химических средств защиты растений резко возрастает при использовании их в едином комплексе, когда каждый отдельный его компонент создает условие для того, чтобы другие агрохимикаты могли проявить свое максимальное действие, обеспечивая создание наиболее благоприятных условий для роста культурных растений и формирования ими высоких урожаев хорошего качества. Действительно, если применяются высокие дозы мине-

ральных удобрений, особенно азотных, и одновременно не применяются меры к ликвидации сорняков в посевах, то значительная часть внесенных питательных веществ окажется потребленной не культурными, а сорными растениями, и урожай не достигнет предполагаемых величин. За первую ротацию севооборота внесли известняковую муку из расчета 6 т/га, навоз 50-60 т/га и N320P250K260. Во второй ротации было внесено 4 т/га извести и по 30 т/га навоза. В среднем ежегодно было внесено 10 т/га органических удобрений. В третьей ротации (1972 - 1979 гг.) было внесено навоза – 60 т/га (по 10 т/га ежегодно), минеральных удобрений N65P50K68 ежегодно. Внесение извести и минеральных удобрений заметно улучшили агрохимические свойства почвы. Почва за годы освоения севооборота и внесения удобрений отличается от исходной: уменьшилась кислотность почвы, возросла сумма поглощенных оснований, возросло содержание фосфора и калия, повысилось содержание гумуса. Сильнокислая, бедная питательными веществами почва до закладки опыта стала слабокислой и повысилась продуктивность севооборота.

Начиная с 4-й ротации, изучали две системы удобрения: органо-минеральную и минеральную. В качестве органических удобрений использовали полуперепревший навоз крупного рогатого скота, а из минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, суперфосфат и хлористый калий. В программу исследований были включены ретарданты и фунгициды. Задача опыта в девятой ротации севооборота (2007-2014 гг.) была направлена на эффективное использование удобрений и агрохимикатов нового поколения с целью поддержания продуктивности севооборота, коэффициента использования растениями питательных элементов из почвы, создания благоприятного фитосанитарного состояния, плодородия почвы и качества продукции [3].

Изменения содержания гумуса под конец 10 ротации полевого севооборота показали, что содержание гумуса повысилось с 1,58% до 2,01%, рН повысилась с 4,3 до 5,2, сумма обменных оснований (S) – с 8,3 до 12,9 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями (V) – с 64,3% до 82,6%. Применение органических удобрений наряду с минеральными способствовали устойчивому повышению содержания подвижных форм фосфора, соответствующая тенденция отмечается и для подвижных форм калия.

Через 35 лет после внесения органических удобрений степень насыщенности основаниями составила 82,6%, что указывает на слабую нуждаемость почв в известковании. Ежегодное внесение минеральных удобрений на фоне последствия извести способствовало повыше-

нию окупаемости удобрений прибавкой урожая зерновых культур. Все приведенные показатели агрохимических свойств почвы свидетельствуют об отсутствии негативного влияния совместного применения удобрений со средствами защиты растений.

В настоящее время продолжается 11-я ротация полевого севооборота. В связи с резким уменьшением органических удобрений в стране, чтобы сохранить плодородие почвы и ее гумусное состояние, в полевой севооборот включили промежуточные сидераты и схема чередования культур стала следующей: горох, озимая пшеница, ячмень, горох, озимая пшеница. Продолжается изучение эффективности комплекса микроэлементов, магниевых удобрений и стимулятора роста на фоне двух систем удобрения: минеральной и органо-минеральной. При этом улучшаются качественные показатели зерна, повышается хозяйственный коэффициент урожая, особенно в комплексе с микроэлементами. Самая высокая прибавка урожайности зерна отмечается на вариантах с внесением комплекса удобрений и средств защиты растений [4].

Выводы

Обобщая результаты, отражающие наиболее важное звено в оценке агроэкологического состояния почв в условиях длительного окультуривания, можно заключить: что внесение навоза в сочетании с полным минеральным удобрением увеличивает содержание в почве гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Плодородием почвы нужно управлять, подобрав систему как минеральных, органических удобрений, так и внесение химических мелиорантов. Без регулирования фитосанитарного состояния эффективность удобрений будет низкой, даже если агрохимические показатели почвы будут удовлетворительными, не может почва, которая ухудшается и деградирует давать высокий устойчивый урожай. В современном земледелии комплексная химизация должна быть направлена на то, чтобы снять негативное действие различных факторов, ограничивающих рост растений и максимально повысить использование культурами минеральных и органических удобрений.

Литература

1. Минеев В.Г., Шевцова Л.К. Влияние длительного применения удобрений на гумус почв и урожай культур//Агрохимия. 1978. №7. С.134-141.
2. Карашаева А.С. Оценка эффективности комплексного применения средств химизации под озимую пшеницу в степной зоне России. Приоритетные научные исследования в области производства и переработки плодовоовощного

сырья и винограда//Сборник научных трудов по материалам международной научно–практической конференции – Махачкала: Издательство АЛЕФ, 2023. С. 212-216.

3. Алиев А.М., Старостина Е.Н., Ивашенков Г.А. Влияние комплексного применения средств химизации на баланс питательных элементов в условиях Центрального Нечерноземья. Плодородие. 2022. № 6 (129). С. 52-54.

4. Кирпичников Н.А., Алиев А.М., Цимбалист Н.И. Оценка систематического применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы. Агрохимический вестник. 2018. № 3. С. 15-18.

Изменение комплекса свойств длительно удобрявшихся почв чайных плантаций влажно субтропической зоны РФ в отсутствии удобрения

Козлова Н.В. – к.б.н., в.н.с, зав. лаб. агрохимии и
почвоведения

*Федеральный исследовательский центр «Субтропический
научный центр Российской академии наук», Россия, г. Сочи,
e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru*

Аннотация. Представлены результаты сравнительной оценки комплекса показателей плодородия и общего состояния почв при многолетнем применении минеральных удобрений и через 8-10 лет после их отмены. Исследования проведены на базе длительного полевого 16-вариантного опыта на культуре чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в условиях Сочинского Черноморского побережья. Почва бурая лесная кислая – типичная чаепригодная почва региона. Внесение NPK-удобрений в различных дозах (N от 70-200 до 210-600, P 60-180, K 50-150 кг д.в./га) и их сочетаниях осуществляли ежегодно в течение 26 лет (1986-2011 год). В результате сформировались модельные агроценозы чая с различными уровнями урожайности, плодородия почв и степени их агрогенной трансформации. С 2012 года применение удобрений полностью прекращено. За 8-10-летний период экстенсивного возделывания произошло существенное падение ранее достигнутого уровня плодородия почв: в 1,3-1,5 раза по содержанию легкогидролизуемого азота, на 0,7-1,2 % – гумуса, в 1,5-1,8 и 1,3-1,4 раза – подвижного фосфора и калия. Урожайность чая была в 2,5-3,3 раза ниже средней многолетней в период применения N-удобрений. Наряду с негативными последствиями проявились положительные с экологической точки зрения изменения, свидетельствующие о тенденции самовосстановления почв после снятия нагрузки удобрениями. Выявлено снижение уровня агрогенного подкисления почв (в среднем на 0,2 единицы pH или 2,6-3,6 смоль(экв)/кг), а также ремиссия их функционального состояния (дыхательная активность и микробная биомасса в среднем в 1,7-2,2 раза выше почвы ежегодно удобряемой N240P70K90 плантации).

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, агроценозы чая, минеральные удобрения, агрогенные и постагрогенные изменения, кислотнo-основные свойства, гумус, обеспеченность NPK-элементами, дыхательная активность, микробная биомасса и метаболический коэффициент

Динамика показателей плодородия почв и процессы их агрогенной трансформации при длительном возделывании чайных плантаций в субтропиках России в зависимости от интенсивности применения минеральных удобрений достаточно хорошо изучены [2, 5, 6, 8, 12, 14, 15]. В том числе установлены причины, механизмы и динамика повышения кислотности [7, 10], провоцирующего дальнейшие изменения вещественно-структурного и функционального состояния почв. Подкисление в первую очередь связано с применением высоких доз азотных удобрений, в определенной степени оно способствует повышению плодородия почв применительно к культуре чая и продуктивности чайных плантаций. Однако, выраженное в сильной степени, оно ведет к серьезным экологически неблагоприятным трансформациям, угрожающим сохранению генетически обусловленного комплекса почвенных свойств, общей биофункциональной способности [15, 17, 18]. В связи с этим актуально изучение потенциальной способности агрогенно-преобразованных почв к самовосстановлению при снижении или снятии агрогенной нагрузки, а также оценка уровня плодородия почв и продуктивности культуры чая на фоне длительного последствия удобрений, чему и посвящена данная работа.

Объекты и методы

Исследования проведены на базе многофакторного полевого опыта с удобрениями (№ 023 в реестре Географической сети опытов РФ), в многолетнем агроценозе монокультуры чая. Схема опыта включала 16 различных сочетаний доз NPK (в 4-х градациях доз – 0, 1, 2, 3 одинарные дозы), в том числе контрольный вариант без удобрений (код варианта 000); повторность 2-кратная, размер опытных делянок 50 м² (табл. 1). Место расположения опыта - ЗАО «Дагомысчай», пос. Уч-Дере, Большой Сочи; почва бурая лесная кислая (на элюво-делювии аргиллитов) [4] – основная чаепригодная почва региона (Сочинское Черноморское побережье, влажно-субтропическая зона). Удобрения согласно схемы опыта вносили более 25 лет (1986-2011 гг.), за этот период в пределах опыта были сформированы модельные мини-плантации (варианты опыта) с различными уровнями урожайности, плодородия почв и степени их агрогенной трансформации.

С 2012 года активная фаза опыта с применением удобрений была завершена, опыт был законсервирован, внесение удобрений полностью прекращено, начато изучение возможных изменений уровня плодородия, вещественно-структурного и функционального состояния почв в отсутствии нагрузки удобрениями.

1. Дозы и общее количество внесенных минеральных NPK-удобрений в опыте

Доза, код	Азотные					Фосфорные		Калийные	
	Дозы по периодам, кг д.в./га в год				Σ за 1986 - 2011 гг., т д.в./га	Дозы, кг д.в./га в год	Σ за 1986 - 2011 гг., т д.в./га	Дозы, кг д.в./га в год	Σ за 1986 - 2011 гг., т д.в./га
	1986 - 1988 годы	1989 - 1992 годы	1993 - 1999 годы	2000 - 2011 годы					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	70	90	120	200	3,8	60	1,6	50	1,3
2	140	180	240	400	7,6	120	3,1	100	2,6
3	210	270	360	600	11,4	180	4,7	150	3,9

Провели сравнение состояния почв на заключительном этапе применения удобрений (2009-2012 гг.) и через 8-10 лет после консервации опыта (2019-2022 гг.) по комплексу показателей кислотно-основного состояния, содержанию гумуса, обеспеченности доступными питательными элементами (легкогидролизуемый азот, подвижные фосфора и калий (по Ониани)), базальное и субстрат-индуцированное дыхание (все выполнено по общепринятым классическим методикам [1, 16]), а также общая микробная биомасса и микробный метаболический коэффициент (согласно [20, 21]). Также при сравнении учитывали фоновый уровень – показатели почвы естественного лесного ценоза, сопряженного с плантацией, и показатели почвы с непрерывающимся длительным применением удобрений в дозах N240P70K90 – технологический контроль, сопоставимых с одинарными в опыте.

Данные анализировали по группам вариантов опыта с основным влияющим фактором: доза азотных удобрений – для кислотно-основных показателей, обеспеченности почв азотом и гумусом; доза фосфорных удобрений – для обеспеченности фосфором; сочетание доз калийных и азотных удобрений – для обеспеченности калием. Обработку данных вели в программе Microsoft Excel (при P = 0,95). В диаграммах представлено среднее + стандартное отклонение. Для обозначения вариантов или групп вариантов использовали код – количество одинарных доз соответствующих элементов (NPK) в период внесения удобрений (табл. 1).

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ уровней обеспеченности почв модельных агроценозов чая при применении минеральных удобрений и в период консервации опыта показали, что после окончания применения удобрений произошло существенное падение ранее достигнутого

уровня плодородия бурых лесных кислых почв [11, 19]. Повышенный в среднем в 1,5 - 2 раза относительно неудобренных азотом почв (000 - контроль) и в 1,3 - 1,7 относительно фона (почва леса) уровень обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом, созданный в результате длительного применения азотных удобрений, за 8-10 лет после окончания их применения опустился в 1,3 - 1,5 раза до уровня, близкого к естественной обеспеченности (7-9 мг/100 г в 0-40 см), без существенных различий между группами вариантов N0, N1, N2, N3 (слабо сохраняя отголоски доза-зависимых различий) (рис. 1). При этом обеспеченность почвы на той части плантации, где внесение удобрений продолжалось в невысоких дозах азота (близких к одинарным в опыте), было по-прежнему выше в 1,4 - 1,5 раза.

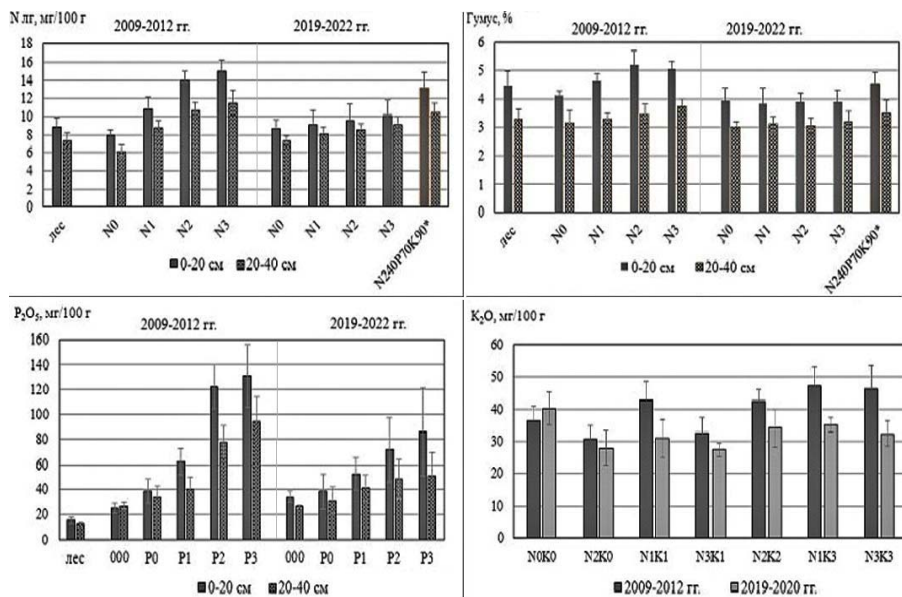


Рис. 1. Изменение уровня содержания легкогидролизуемого азота, гумуса, подвижного фосфора и калия в почве модельных чайных агроценозов опыта в результате 8-10-летнего отсутствия удобрений (средние по группам вариантов, N240P70K90* – технологический контроль)

В вариантах, где ранее фосфорные удобрения вносили в двойных или тройных дозах (120-180 кг/га д.в.), почвы имели 3-4-кратное повышение обеспеченности подвижным фосфором к началу консервации опыта. В результате окончания применения удобрений содержание подвижного фосфора снизилось в 1,5-1,8 раз от прежнего уровня, но пока еще превышало контроль в 2-2,5 раза (рис. 1).

В вариантах с использованием низких доз фосфора, а также на контроле существенных изменений показателя за период консервации не выявлено.

В почвах модельных плантаций, достигших высокой обеспеченности калием после длительного внесения калийных удобрений, содержание подвижного калия за период консервации опыта существенно снизилось, как относительно прежнего уровня (в 1,3-1,4 раза), так и относительно контроля (рис. 1). Почвы, имевшие к началу консервации опыта пониженное содержание элемента на фоне интенсивного азотного питания при отсутствии или недостатке калийного, в дальнейшем не имели существенных изменений.

При экстенсивном типе возделывания без применения минеральных удобрений (в особенности азотных) потенциально возможная продуктивность чайных плантаций не была реализована. Обобщение данных 2019-2022 гг. показало, что после 8-10 лет отсутствия удобрений средняя урожайность чая была везде практически одинаково низкой, без существенных различий между группами вариантов N1, N2, N3 и относительно контрольной группы N0 (рис. 2). Данный уровень характерен для неудобряемых азотом плантаций (в сопоставимых погодных условиях) и в 2,5-3,3 раза ниже, чем на фоне применения азотных удобрений (в сочетании с РК) на заключительном этапе опыта (в 2005-2011 гг.). При этом урожайность плантации, где продолжалось применение удобрений (N240P70K90 – технологический контроль) была в среднем в 2 раза выше.

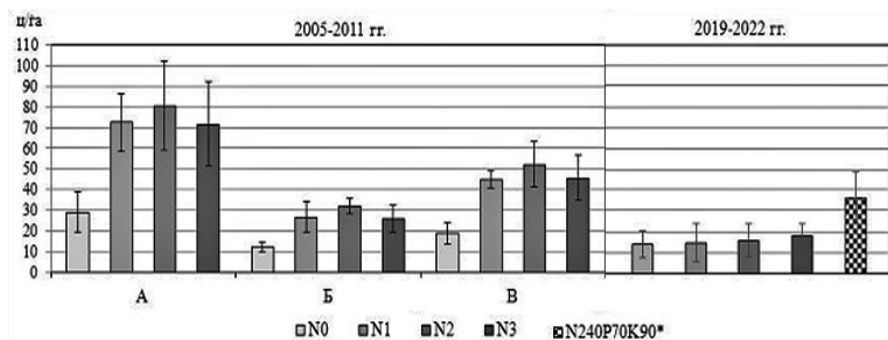


Рис. 2. Средняя урожайность модельных чайных плантаций на завершающем этапе применения удобрений (2005-2011 гг.) в зависимости от доз азота и гидротермических условий (А – при благоприятных; Б – при неблагоприятных; В – средняя) и на фоне 8-10 лет последействия удобрений (2019-2022 гг., где N240P70K90* – технологический контроль)

Содержание гумуса в период применения удобрений в почве под чаем постепенно увеличилось в зависимости от доз азотных удобрений, определявших продуктивность плантаций и количество растительных остатков, а также условия гумусообразования [3, 6]. Основной рост показателей отмечен в первые 12-15 лет с последующей стабилизацией на достигнутом 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. Исходный уровень при закладке плантации был ниже фонового (под лесом) в результате минерализации гумуса при механической обработке почвы (раскорчевка, плантажная вспашка и т.д.) и составлял 3,2/2,5% (в слоях 0-20/20-40 см). Рост общего содержания органического углерода происходил в первую очередь за счет углерода негидролиземого остатка (гумина) и в некоторой степени гумусовых кислот (преимущественно фульвокислот) [3]. На 8-10-й год прекращения применения удобрений содержание гумуса в почве всех ранее удобрявшихся азотом плантаций снизилось в среднем на 0,7-1,2% до уровня неудодрявшихся (рис. 1), что связано с падением продуктивности плантаций, изменением условий гумусообразования в отсутствии непосредственного влияния минеральных удобрений, нарушением ранее достигнутого баланса минерализации/гумификации, а также с особенностями качественного состава новообразованного ранее органического вещества. Минерализация гумина, состоявшего, по-видимому, преимущественно из слабо гумифицированного материала, а также незрелость и повышенная мобильность гумусовых веществ при снижении объёмов их новообразования могли привести к потере органического вещества за счёт выноса при промывном водном режиме. Подробнее изменение гумусного состояния почв изложены в статье [11].

При исследовании кислотно-основных свойств почвы было установлено, что после снятия нагрузки удобрениями произошло существенное снижение кислотности ранее удобрявшихся и в разной степени (в зависимости от доз азотных удобрений) агрогенно-подкисленных почв [7]. Относительно показателей рНКС₁, достигнутых в результате 26-летней эксплуатации с применением одинарных, двойных или тройных доз азотных удобрений, повышение рНКС₁ за 8-9-летний период после прекращения применения удобрений в среднем составило 0,18-0,21- 0,24 единицы (в слое 0-20 см, соответственно) (рис. 3).

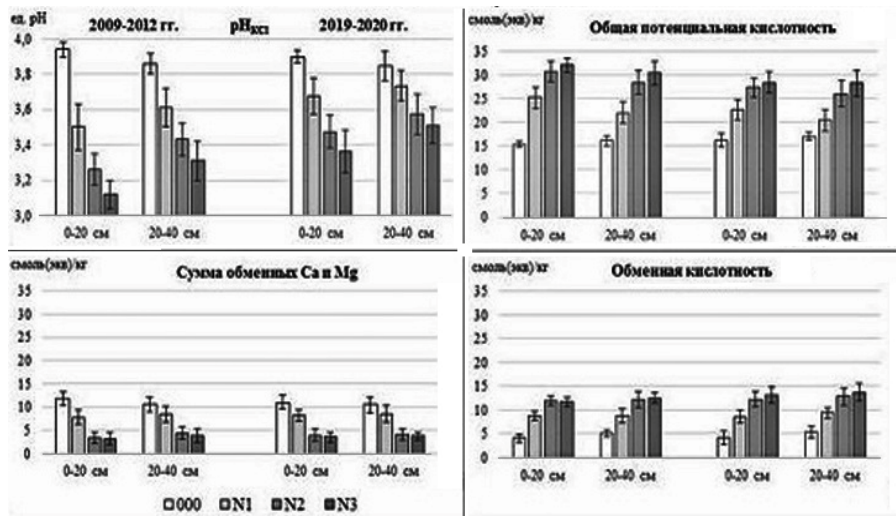


Рис. 3. Кислотно-основные показатели почв с разной степенью агрогенного подкисления, до и после консервации опыта (средние по группам вариантов с 1-2-3-ми дозами азота – код N1, N2, N3, соответственно)

Снижение общей потенциальной кислотности (на 2,55 - 3,42 - 3,60 смоль(экв)/кг, соответственно) шло только за счет pH-зависимой (необменной) кислотности, доля которой в общей кислотности сократилась на 3,1-5,9-9,8%, кратно ранее применявшимся дозам азота. При этом уровень обменной кислотности, обусловленной обменным алюминием, как и уровень содержания обменных оснований (Са и Mg) сохранились. Выявленное «раскисление», по-видимому, связано с устранением непосредственного вклада кислотоопределяющих компонентов, поступавших с физиологически кислыми удобрениями, а также органических кислотных компонентов при снижении уровня содержания гумуса.

Кроме того, для почв, получивших разную степень агрогенных изменений, была проведена оценка их функционального состояния спустя 10-летний период после прекращения внесения удобрений (результаты и методы подробно изложены в отдельной статье [9]). Почвы, ранее удобрявшиеся одинарными, двойными или тройными дозами NPK (111, 222, 333), сравнили с контролем (000-без удобрений) и с фоновой почвой леса (эталон), а также с почвой в той части плантации, где сохранялось ежегодное внесение удобрений (N240 P70K90 – технологический контроль, сопоставим с одинарными дозами). Было установлено, что снятие нагрузки удобрениями способствовало улучшению биоэкологического статуса почв, нормали-

зации их ранее угнетенного (об этом подробнее в [13, 17, 18]) функционального состояния. Почвы модельных чайных агроценозов в стадии 10-летней ремиссии занимали промежуточное положение между почвой леса и почвой удобряемой плантации, где БД, СИД и Смк были ниже фона (эталона) в среднем в 1,6, 3,3 и 3,3 раза (соответственно), а qCO_2 – более чем в 2 раза выше (табл. 2).

2. Показатели кислотности и биологической активности исследованных почв (2021 г., среднегодовые данные, слой 0-20 см)

Варианты	pH_{KCl}	Базальное дыхание (БД), мкг CO_2 -C/г почвы в час	Субстрат-индуцированное дыхание (СИД), мкг CO_2 -C/г почвы в час	Микробная биомасса ($C_{мик}$), мкг C/г почвы	Метаболический коэффициент (qCO_2), мкг CO_2 -C/мг $C_{мик}$ час
Участок естественного лесного экотенноза (эталон)					
Лес	$3,94 \pm 0,06$	$1,6 \pm 0,3$ (1,3 – 2,0)	$7,1 \pm 0,3$ (4,4 БД*) (6,8 – 7,7)	577 ± 28 (554 – 623)	$2,8 \pm 0,6$ (2,2 – 3,6)
Чайная плантация, опытный участок в 10-летней консервации (без удобрений с 2012 г.)					
000	$4,07 \pm 0,10$	$1,2 \pm 0,4$ (0,7 – 1,7)	$5,5 \pm 1,1$ (4,6 БД*) (4,3 – 7,3)	442 ± 90 (343 – 588)	$2,7 \pm 1,0$ (1,5 – 4,0)
111	$3,77 \pm 0,13$	$0,9 \pm 0,1$ (0,8 – 1,0)	$3,6 \pm 0,9$ (4,0 БД*) (2,1 – 4,5)	291 ± 72 (172 – 364)	$3,2 \pm 0,7$ (2,7 – 4,3)
222	$3,54 \pm 0,15$	$1,1 \pm 0,2$ (0,8 – 1,2)	$3,9 \pm 1,0$ (3,5 БД*) (2,7 – 5,1)	312 ± 85 (222 – 411)	$3,7 \pm 1,1$ (2,8 – 5,5)
333	$3,49 \pm 0,22$	$1,5 \pm 0,4$ (1,0 – 1,9)	$4,5 \pm 1,4$ (3,0 БД*) (3,0 – 6,8)	362 ± 116 (245 – 553)	$4,2 \pm 0,8$ (3,5 – 5,5)
Регулярно удобряемая чайная плантация					
N240P70 K90	$3,23 \pm 0,12$	$1,0 \pm 0,1$ (0,8 – 1,2)	$2,1 \pm 0,4$ (2,1 БД*) (1,5 – 2,6)	173 ± 32 (122 – 209)	$5,9 \pm 2,1$ (4,0 – 9,4)

Примечания: в верхней строке представлены средние $\pm$ стандартные отклонения, в нижней строке в скобках указан интервал значений в сезонной динамике; * – кратность показателей СИД относительно БД

Не достигая пока уровня эталона (почвы леса), субстратиндуцированное дыхание и общая микробная биомасса оказались в уже удобряемой почве под чаем в среднем в 1,7-2,2 раза выше, а микробный метаболический коэффициент – в 1,4-1,8 раза ниже, в сравнении с почвой удобряемой невысокими дозами (N240P70K90). При этом для почв в состоянии ремиссии, сохранялся доза-зависимый эффект, согласно ранее произведенной нагрузке NPK-удобрениями.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования на базе законсервированного полевого опыта с НРК-удобрениями на культуре чая в условиях влажно-субтропической зоны РФ позволили установить, что без применения минеральных удобрений в период 2012-2022 гг. произошло существенное падение ранее достигнутого при длительном применении минеральных удобрений уровня плодородия бурых лесных кислых почв и урожайности культуры. Ранее повышенный уровень легкогидролизуемого азота опустился в 1,3-1,5 раза до уровня, близкого к естественному (фоновому), без существенных различий между разными группами вариантов.

Содержание гумуса, повышенное в почве всех ранее удобрявшихся азотом высокопродуктивных плантаций снизилось в среднем на 0,7-1,2%, до уровня неудобрявшихся. Повышенное в 3-4 раза (на фоне Р 120-180) содержание подвижного фосфора снизилось в 1,5-1,8 раза. Обеспеченность калием снизилась в 1,3-1,4 раза относительно ранее достигнутого (на фоне К 100-150) высокого уровня. Урожайность чая в опыте была везде одинаково низкой, на уровне и ранее характерном для неудобряемых плантаций, в среднем в 2 раза ниже урожайности плантации, где продолжалось применение удобрений в невысоких дозах (N240P70K90), и в 2,5-3,3 раза ниже средней многолетней при применении высоких доз N-удобрений в опыте.

Наряду с негативными последствиями был выявлен положительный тренд изменения состояния почв при длительном отсутствии удобрений с экологической точки зрения: ослабление степени их агрогенного подкисления (рост pH в среднем на 0,2 единицы, снижение общей потенциальной кислотности на 2,6-3,6 смоль(экв)/кг); повышение биологической активности и устойчивости микробного сообщества (субстрат-индуцированное дыхание и общая микробная биомасса в 1,7-2,2 раза выше, а микробный метаболический коэффициент в 1,4-1,8 раза ниже, в сравнении с почвой ежегодно удобряемой плантации N240P70K90 плантацией). Тенденции нормализации кислотно-основных свойств и ремиссии биофункционального состояния говорят о потенциальной способности даже сильно агрогенно-измененных почв к самовосстановлению после снятия нагрузки удобрениями.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2021-0010, № госрегистрации 122032400081-5.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2004. – 169 с.
3. Владыченский А.С., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Гумусное состояние буроземов и его изменение при интенсивном возделывании чая в условиях субтропической зоны РФ // Вестник Моск. ун-та. Серия 17: Почвоведение. – 2007. – № 4. – С. 10-17.
4. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1997. – 224 с.
5. 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.
6. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика накопления гумуса в бурых лесных кислых почвах при длительном возделывании чая во влажных субтропиках России // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 3 – С. 73-78.
7. 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.
8. 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.
9. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Функциональная активность почв чайных плантаций после снятия нагрузки удобрениями // Агрохимический вестник. – 2022. – № 4. – С. 55-60.
10. 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.
11. 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.
12. Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Калийный статус почв в зависимости от схем и длительности применения удобрений при возделывании чая в субтропиках России // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 3. – С. 357.
13. Малюкова Л.С., Керимзаде В.В., Великий А.В. Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на дыхательную активность почв чайных плантаций // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 43. – С. 132-138.

14. Малукова 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.
15. Малукова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2008. – № 4. – С. 26-27.
16. Практикум по агрохимии: учебн. пособие / под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
17. Рогожина Е.В. Структурно-функциональное состояние микробного комплекса бурых лесных кислых почв влажно-субтропической зоны России при длительном агрогенном воздействии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – 23 с.
18. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях Черноморского побережья России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2014. – 24 с.
19. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agrocnoses in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humidsubtropical zone of Russia // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – 254. – 05009.
20. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.* – 1978. – V. 10(3). – P. 215-221.
21. Anderson T.H., Domsch K.H. The metabolic quotient from CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1993. – V. 25. – P. 393-395.

Комплексные исследования в агроэкосистемах Курской области

Малышева Е.В.

*ФГБОУ ВО Курский ГАУ, Курск,
maleshevae1981@mail.ru*

Наиболее актуальна для Курской области проблема сохранения главного природного ресурса – чернозёма. Большую часть земель, около 70%, занимает именно чернозём, который является лучшей почвой для земледелия благодаря своим уникальным свойствам. За счёт умеренно-континентального климата в нашем регионе преобладает степная растительность. Тёплое продолжительное лето способствует бурному росту травянистых растений. Зимой надземная часть растений погибает, поэтому ежегодно в почву поступает большое количество степной органики, что способствует образованию перегноя и гумуса, который придаёт почве тёмную окраску и является залогом плодородия. В почве в виде сложных органических соединений накапливаются многие вещества, необходимые растениям.

С плодородием связано получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Неправильная обработка почвы приводит к эрозии. Вырубка леса, распашка задернованных склонов, низкая агротехника вызывает ускорение эрозии почв. В области имеется около 600 тыс.га земель, нуждающихся в защите от эрозии. Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, расположенный в Курске, разработал «Генеральную схему противоэрозионных мероприятий». Предусматривается целый комплекс мер борьбы с эрозией: агротехнические, фитомелиоративные и гидротехнические. Значительная часть земель изымается из хозяйственного использования в результате развития горнодобывающей промышленности. Площадь нарушенных земель в области составляет 18 тыс.га, из них более 6 тыс.га – пашни. Эти земли нуждаются в рекультивации, т.е. окультуривании. При длительном использовании почв в сельском хозяйстве в них происходит уменьшение содержания гумуса и других ценных питательных веществ. Так, на несмытых черноземах пашни содержание гумуса в метровом слое уменьшилось на 20-30%. На средне смытых на 45-50% по сравнению с почвами целинной степи. Содержание гумуса в несмытой серой лесной почве уменьшилось на 30-40%, в средне смытой на 60-65% по сравнению с почвой под лесом.

Введение

Охрана природы – задача нашего XXI века, проблема, ставшая социальной. Снова и снова мы слышим об опасности, грозящей окружающей среде, но до сих пор многие из нас считают, что мы еще успеем справиться со всеми выявившимися затруднениями. Однако, воздействие человека на окружающую среду приняло угрожающие масштабы, и наша Курская область не исключение.

Объекты исследования

Почвы и растительность Курского края. Эрозия сопровождается разрушением наиболее плодородного верхнего слоя почвы, что значительно снижает плодородие и соответственно негативно сказывается на эффективности сельского хозяйства. Эрозия – естественный процесс, ведущий к образованию промоин и оврагов. В Курской области местность достаточно холмистая, после бурных дождей вода стекает по склонам, собирается в потоки, унося с собой частицы земли, поэтому овраги – нередкое в нашем регионе явление. Однако зачастую эрозия спровоцирована именно деятельностью человека, несоблюдением правил агротехники. В области имеется около 600 тыс. гектаров земель, нуждающихся в защите от эрозии.

Растительность значительно замедляет процесс разрушения плодородного слоя культивируемых земель, благотворно влияя на состояние почвы, поэтому растения можно применять в качестве средства борьбы с обоими видами эрозии. Роль растений сложно переоценить. Корни деревьев и степных растений прочно удерживают частички земли, защищая её от вымывания. Ненарушенная лесная и луговая земля пористая, поэтому капли дождя медленно проникают вглубь, не собираясь в потоки способные унести за собой слои грунта. Ряды деревьев и кустарников, которые высаживаются между полями и называются у нас ветрозащитными полосами, являются эффективной защитой от ветреной эрозии. Кроме того, деревья и кустарники оказывают значительно влияние на микроклимат.

Лесная подстилка обладает огромной влагоёмкостью, поэтому она способна задерживать потоки воды, что особенно важно в период весеннего таяния снега или во время ливневых дождей. Насыщенная водой, подстилка всё равно не теряет своей водопропускной способности. Важным является ещё и то, что накапливая воду в период достаточного увлажнения, лесная подстилка способна отдавать накопленную воду, когда это особенно нужно. Также почва, защищённая

лиственным опадом, зимой промерзает не так глубоко и, соответственно, оттаивает раньше, чем в поле. Промёрзшая полевая почва не способна впитывать талую воду, вода собирается в потоки, приводя к эрозии, также создаётся резкий подъём воды в реках, что особенно актуально для реки Сейм. Лесная почва успевает оттаять к моменту активного таяния снега, она хорошо впитывает влагу, лишняя вода пополняет грунтовые воды.

Ветрозащитная роль лесных насаждений также велика, однако стоит учитывать тот факт, что плотные не продуваемые насаждения не только не уменьшают скорости ветра, но и наоборот могут усиливать его.

Существует множество других средств защиты от эрозии. Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, расположенный в городе Курске, разработал «Генеральную схему противоэрозийных мероприятий», планируется целый комплекс мероприятий по борьбе с эрозией: агротехнические (противоэрозийная обработка почвы), фитомелиоративные (залужение крутых склонов, посадка лесополос), гидротехнические (водозадерживающие валы, плетневые пруды).

Методы исследования

В ходе исследований были выполнены следующие виды работ: - сбор, обработка и анализ опубликованных и фондовых материалов и данных о состоянии природной среды.

Визуальное обследование сопровождалось описанием местных природных условий (рельефа, почв, геологии и гидрографии). Курская область находится в зоне умеренно-континентального климата, лесостепной зоны средней полосы России. Условия благоприятны как для произрастания степной, так и для лесной растительности. В настоящее время большая часть региона занята посевами сельскохозяйственных культур. По уровню распаханности Курская область занимает одно из первых мест в стране. Лишь 23% территории покрыты естественной растительностью. На долю лесных массивов приходится 10% территории, остальные 13% – луга и степи.

Леса представлены в основном лиственными породами деревьев. Основными лесообразующими породами являются дуб черешчатый, берёза повислая, ольха чёрная, осина, сосна.

Вдоль песчаных террас рек Сейм, Псёл, Свапа можно встретить искусственно посаженные сосновые боры. В соответствии с положением 108 Лесного кодекса в регионе действует программа по лесо-

восстановлению. Ежегодный объём создания лесных культур составляем 400 гектаров. А так же были проведены обработка и анализ опубликованных литературных источников, касающихся нашей темы [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

В геоморфологическом отношении изучаемые участки относятся к водораздельному пространству. С целью сохранения естественной среды обитания, защиты исчезающих видов, охраны природы в нашей стране повсеместно создаются заповедники. Заповедник – территория, на которой в целях сохранения природных комплексов запрещена любая деятельность человека кроме научной. В Курском крае тоже есть такие территории – это Центрально-чернозёмный государственный заповедник имени В.В. Алёхина, созданный ещё в начале прошлого века. Хотя наш заповедник не может похвастаться величиной территории, однако вклад заповедника в сохранение природы сложно переоценить. Заповедник призван сохранить уникальные северные степи, эталонные курские чернозёмы, доледниковую растительность на меловых холмах, реликтовые сфагновые болота и чистейшие пойменные комплексы. В настоящее время в заповеднике выделяют 6 участков, суммарной площадью более 6 тыс. гектар. Практически исчезнувшие в Европейской России плакорные луговые степи на Стрелецком и Казацком участках характеризуются невероятным разнообразием видов – около 87 видов на 1 кв. м. По данному показателю наши степи могут сравниться разве что с тропическим лесом. Также внимания заслуживает представленный на Стрелецком и Казацком участках никогда не пахавшийся чернозём, мощность гумусового горизонта здесь составляет около 1,3 метра, а содержание самого гумуса около 13%. Реликтовые виды растений произрастают на меловых холмах, расположенных на участках Букреевы Бармы и Баркаловка. Среди реликтов, встречающихся у нас, волчеягодник бороной, не произрастающий ни в одном ином заповеднике России.

Характерные для Курской области пойменные ольшаники и дубравы, а также озёра-старицы расположены на участке Поймы реки Псёл. Здесь же произрастает самое маленькое в мире цветковое растение – вольфия бескорневая, не известная в других районах Курской области. На Зоринском участке наибольший интерес представляют сфагновые болота.

Живописное урочище «Карыжский лес». Оно раскинулось на левом, возвышенном берегу реки Сейм на пощади 1820 га. Лесонасаждения этого урочища почти целиком созданы руками

лесоводов. Удивительно, но в Карыжском лесу расположены сразу 6 памятников природы: культура сосны крымской, сосны обыкновенной, сосны веймутовой, а также ели, ореха манчжурского и дуба. Поистине уникальное место, в котором встречаются многие виды краснокнижной флоры и фауны. Все 6 памятников природы имеют большое научное значение и требуют охраны.

В связи с тем, что в последнее время произошло обезвоживание почвы в верхних слоях, то произошёл дефицит влаги. Очень сильно пострадала ель, так как у неё корневая система поверхностная. В это время стал активно размножаться жук-типограф. За сезон возникает несколько поколений. Голые рыжие стволы, устремлённые вверх, сухие ветки без намёка на хвою. Такую картинку можно наблюдать в карыжском лесу. С жуком-типографом бороться невозможно. Лесники испробовали множество способов борьбы с ним: высаживали рядом с поражёнными деревьями другие хвойные деревья для приманки жука, ставили феромоновые ловушки, но все усилия были напрасны. Заражённые и слабо заражённые деревья вырубались. Вырубка поражённой ели – самый эффективный способ борьбы с жуком-типографом. Как бы там ни было, а лесоводы просто вынуждены прибегать к санитарным сплошным или выборочным рубкам на поражённых участках. Спил идёт в основном на дрова, так как товарные качества этой древесины очень низкие. Повреждённые насекомыми деревья нельзя использовать в строительстве, лишь часть из них можно пускать на вспомогательные нужды. В настоящее время ведётся работа по восстановлению лесных массивов – высаживаются сосны, красный и черешчатый дуб.

Выводы

Курская область имеет уникальное географическое положение, уникальный климат, позволяющий сохранить и приумножить здесь многие виды животных и растений, занесённых в Красную книгу. Благоприятные условия здесь также и для сельского хозяйства. Хотелось бы, чтобы как можно дольше сохранялся баланс между природой и хозяйственной деятельностью человека. Это требует от человека, прежде всего осознанности, понимания своей ответственности пред обществом и перед природой. Большой вклад в сохранность природы вносит наш Центрально-чернозёмный заповедник.

Литература

1. Долгополова Н.В. К вопросу о проблеме агроэкологии в агроландшафте и в биосфере // Региональный вестник. 2018. № 1 (10). С. 2.
2. Долгополова Н.В., Малышева Е.В., Нагорных А.В. и др. Об агрофизических свойствах почвенного слоя // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 18-25.
3. Долгополова Н.В., Широких Е.В. Изменение запаса органического вещества чернозема типичного в зависимости от вида, эродированности и местоположения угодий // Региональный вестник. 2015. № 1. С. 27-30.
4. Недбаев В.Н., Малышева Е.В. Гумусовое состояние почв центрального Черноземья и пути повышения его содержания // Недбаев В.Н., Малышева Е.В. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 94-97.
5. Долгополова Н.В., Акименко А.С. Основные элементы в севообороте и оптимальные технологии при выращивании яровых зерновых в агроландшафте ЦЧЗ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1. С. 11-15.
6. Пигорев И.Я., Привало О.Е., Журавлев А.А. Анализ производства агроценозов в условиях Курской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 1 (21). С. 184-185.
7. Долгополова Н.В., Пигорев И.Я. Роль плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии // В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий. Материалы XX Международной научно-производственной конференции. 2016. С. 3-4.
8. Долгополова Н.В., Широких Е.В. Состав органического вещества в профиле чернозема типичного стрелецкого заповедного участка // Региональный вестник. 2016. № 1 (2). С. 25-27.
9. Пигорев И.Я., Батраченко Е.А., Долгополова Н.В., Буланова Ж.А. Возбудитель, вызывающий усыхание дуба (QUERCUS) - наиболее распространенное заболевание твердолистных насаждений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 7. С. 145-149.

Адсорбция катионов свинца органоглинами на основе бентонита и анионных ПАВ

***Переломов Л.В., ¹Герцен М.М., Бурачевская М.В.,
Апрощенко Ю.М., Сиголаева Т.Е.***

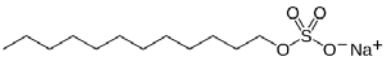
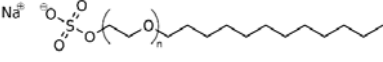
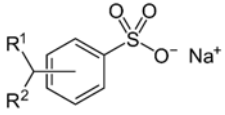
*Тульский государственный педагогический университет им.
Л.Н. Толстого, г. Тула, ¹mani.gertsen@gmail.com*

Ионы тяжелых металлов являются одной из основных причин загрязнения промышленных и природных вод из-за своей высокой токсичности, невозможности биоразлагаться и быстрому накоплению в окружающей среде. Для удаления ионов тяжелых металлов разработано множество адсорбентов, однако высокая стоимость синтетических адсорбентов является основной причиной постоянного поиска новых эффективных и доступных систем селективной очистки воды [1, 2]. Среди них глиняные материалы оцениваются как экологически безопасные и недорогие сорбенты, которые можно легко получить и регенерировать [3, 4]. Монтмориллонит (слоистый алюмосиликат 2:1) является одним из наиболее изученных глинистых и перспективных минералов в области адсорбции из-за его высокой способности к набуханию, гидрофильности и легкости покроя [5].

Использование природных глинистых минералов для поглощения ионов металлов при очистке воды имеет несколько ограничений. Самое главное, что малый размер частиц природных глин может вызывать определенные трудности при фильтрации воды [6]. Еще одним недостатком глин является их низкая адсорбционная селективность. Ионообменный механизм поглощения катионов природными глинами не может обеспечить достаточную селективность по отношению к токсичным металлам [7]. Поэтому, в настоящий момент актуален вопрос получения модифицированных природных глин различными химическими агентами для эффективного поглощения ионов тяжелых металлов. Целью работы является изучение адсорбция тяжелых металлов органоглинами на основе бентонита и анионных поверхностно-активных веществ.

Для синтеза органоглин на основе бентонита использовали следующие анионные ПАВ (табл. 1):

1. Анионогенные ПАВ, использованные для синтеза органоглин

Характеристика	Структурная формула	Содержание
Додецилсульфат натрия $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ 288,38 г/моль		2 ЕАО 20% от массы минерала
Сунатал $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OSO}_3\text{Na}$ Варьирует, обычно около 421 г/моль		2 ЕАО 20% от массы минерала
Сульфенол $\text{R-C}_6\text{H}_4\text{NaO}_3\text{S}$, где R — радикал, соответствующий общей формуле $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, где $n=14-18$	 $\text{R}^1 + \text{R}^2 = \text{C}_{11}\text{H}_{24}$	10% от массы минерала

Для получения органоглин использовали концентрацию органических веществ: 1 г (20% от массы минерала) в 100 мл деионизированной воды.

Установлено, что при низких концентрациях ионов свинца его поглощение модифицированным бентонитом было ниже, чем чистым минералом. Однако при высоких концентрациях – в случае додецилсульфата натрия и сунатала, поглощение увеличивалось. Оба вещества относятся к алкилсульфатам – имеют относительно длинную углеводородную цепь и отрицательно заряженную сульфогруппу. Для органоглины на основе додецилсульфата натрия при концентрации 2ЕАО при исходной концентрации ионов свинца 4мМ поглощение почти достигало уровня чистого минерала, а при использовании додецилсульфата в концентрации 20% – превосходило натриевый бентонит.

Очевидно, причиной является формирование новых сорбционных кластеров на поверхности слоев филлосиликата с участием анионных ПАВ и неспецифическое поглощение ими ионов свинца при его высоких концентрациях в растворе. При этом поглощение ионов свинца органоглинами лучше аппроксимируется уравнением Фрейндлиха, а не уравнением Ленгмюра (табл. 2).

В случае органоглины на основе сунатала с более длинной алкильной цепью по сравнению с додецилсульфатом, при концентрации катионов свинца 4 ммоль поглощение металла органоглиной приближается к его поглощению чистым минералом, но не превосходит его. При этом также прослеживается корреляция эффективности адсорбции с концентрацией органического вещества.

*2. Параметры уравнений изотерм адсорбции Pb
на синтезированных органоглинах на основе анионных ПАВ*

Уравнение	K_F или K_L	$Q_{\max}$	R^2
Бентонит			
$q=K_F \cdot C^{1/n}$, Фрейндлих	12,8	-	0,879
$q=k \cdot Q_{\max} \cdot C/(1+K_L \cdot C)$, Ленгмюр	0,36	205	0,998
Додецилсульфат Na (20%)			
$q=K_F \cdot C^{1/n}$, Фрейндлих	14,7	-	0,967
$q=k \cdot Q_{\max} \cdot C/(1+K_L \cdot C)$, Ленгмюр	0,38	254	0,882
Сунатал (20%)			
$q=K_F \cdot C^{1/n}$, Фрейндлих	11,9	-	0,991
$q=k \cdot Q_{\max} \cdot C/(1+K_L \cdot C)$, Ленгмюр	0,29	214	0,957
Сульфонол (20%)			
$q=K_F \cdot C^{1/n}$, Фрейндлих	12,1	-	0,984
$q=k \cdot Q_{\max} \cdot C/(1+K_L \cdot C)$, Ленгмюр	0,21	171	0,962

Известно, что анионогенные поверхностно-активные вещества, такие как додецилсульфат натрия могут эффективно улучшать адсорбционную способность глин по отношению к ионам тяжелых металлов [8]. Так авторы указывают, что извлечение ионов стронция было значительно улучшено на органоглине, синтезированной с его участием. Однако увеличение поглощения стронция органоглиной с 3,91 мг/г до 26,85 мг/г вызывает определенные сомнения [9].

Таким образом, использование для синтеза органоглин анионогенных ПАВ может быть достаточно перспективно для иммобилизации смесей загрязнителей, включающих как органические вещества, так и тяжелые металлы. Модификация бентонитов анионогенными ПАВ не изменяет или несколько повышает их адсорбционную эффективность по отношению к катионам тяжелых металлов и в то же время (по многочисленным литературным данным) вследствие гидрофобизации поверхности минерала приводит к возможности поглощать органические вещества.

В естественных условиях загрязненные воды и почвы содержат чаще всего многочисленные поллютанты, поэтому использование для их очистки или иммобилизации органоглин является перспективным.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме:
«Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимод-
ействий слоистых силикатов с почвенным органическим
веществом и микроорганизмами» (Средства дополнительного
соглашение № 073-03-2023-030/2 от 14.02.2023 к Соглашению
о предоставлении субсидии из федерального бюджета
на финансовое обеспечение выполнения государственного задания
на оказание государственных услуг (выполнение работ)
073-00030-23-02 от 13.02.23).*

Литература

1. Abd Hamid S., Shahadat M., Ismail S. Development of cost effective bentonite adsorbent coating for the removal of organic pollutant // Applied Clay Science. 2017. V. 149. P. 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.022>
2. Pandey S. A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment // Journal of Molecular Liquids. 2017. V. 241. P. 1091-1113. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.115>
3. Uddin M.K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade // Chemical Engineering Journal. – 2017. V. 308. P. 438-462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>
4. Zhu R., Chen Q., Zhou Q. et al. Adsorbents based on montmorillonite for contaminant removal from water: A review // Applied Clay Science. 2016. V. 123. P. 239-258. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.024>
5. Kunduru K.R., Nazarovky M., Farah S. et al. Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment // Water purification. 2017. P. 33-74. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804300-4.00002-2>
6. Tohdee K., Kaewsichan L., Asadullah. Enhancement of adsorption efficiency of heavy metal Cu (II) and Zn (II) onto cationic surfactant modified bentonite // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2018. V. 6(2). P. 2821-2828. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.030>
7. Jlassi K., Abidi R., Benna M. et al. Bentonite-decorated calix arene: a new, promising hybrid material for heavy-metal removal // Applied Clay Science. 2018. V. 161. P. 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.04.005>
8. Lin S., Juang R. Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite // Journal of Hazardous Materials. 2002. V. 92(3). P. 315–326. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00026-2)
9. Wu P., Dai Y., Long H. et al. Characterization of organo-montmorillonites and comparison for Sr (II) removal: Equilibrium and kinetic studies // Chemical Engineering Journal. 2012. V. 191. P. 288-296. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.017>

**Публикации сотрудников кафедры агрохимии
МГУ имени М.В. Ломоносова в журнале
«Агрохимический вестник»**

¹ *Прохоров И.С., к.с.-х.н., доцент,* ² *Пирумова Л.Н., к.п.н.*

1 - АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве»

*2 - Центральная научная сельскохозяйственная библиотека
г. Москва, Российская Федерация, e-mail:
agrochem_herald@mail.ru*

Аннотация. *Представлена краткая информация об истории
журнала «Агрохимический вестник» («Удобрение и Урожай»,
«Химизация социалистического земледелия», «Химия в сельском
хозяйстве», «Химизация сельского хозяйства»)
с 1929 г. по настоящее время.*

*В связи со 160-летним юбилеем кафедры агрохимии и биохимии
растений факультета почвоведения Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова рассмотрены наиболее
запоминающиеся работы ее сотрудников, посвященные различным
аспектам почвенно-агрохимических и агроэкологических
исследований.*

Ключевые слова: *научный журнал, история, почвоведение,
агрохимия, агроэкология.*

Журнал «Агрохимический вестник» является правопреемником журнала «Удобрение и Урожай», 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.» [1].

Одним из инициаторов выхода в свет журнала, основанного Комитетом по химизации народного хозяйства СССР при СНК СССР и Научным Институтом по Удобрениям НТУ ВСНХ СССР, стал академик Д.Н. Прянишников. 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. Квириг, 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 [1-13]. Тираж журнала первоначально составлял 2000 экз.

Будучи единственным органом, специально посвященным проблемам химизации земледелия, журнал «Удобрение и Урожай» из-за малого объема не мог достаточно полно освещать вопросы защиты растений, поэтому с мая 1932 г. отдел журнала «Химические средства борьбы с вредителями и болезнями растений» стал выпускать самостоятельное издание «На защиту социалистического урожая». Сегодня – это журнал «Защита и карантин растений», а журнал «Удобрение и урожай» в 1932 г. был переименован в «Химизацию социалистического земледелия» и стал органом Наркомзема СССР и Всесоюзного НИИ удобрений, агротехники и агропочвоведения имени К.К. Гедройца (ВИУАА) [1, 5, 6, 9-11]. В это время в состав редколлегии входили: К.К. Гедройц, О.К. Кедров-Зихман (отв. редактор), А.Н. Лебедянцева, Е.Е. Магарам, Я.П. Никулихин, С.С. Сигаркин, С.И. Теумин, А. Федяев, Н.В. Феоктистов. Авторами в это время помимо членов редколлегии были: М.М. Вольф, Л.Н. Барсуков, Е.В. Бобко, Д.А. Сабинин, В.С. Буткевич, М.А. Егоров, С.П. Молчанов, А.А. Ширшов.

Содержание журнала дублировали на английском и немецком языках, тираж составлял 1 875 экз., достигнув в 1938 г. – 9 660 экз.

В 1941 г. последним, вышедшим номером журнала, стал № 6 с тиражом 8 770 экз., так как началась Великая Отечественная Война.

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 экземпляров, достиг в 1957 г. 19 600 экземпляров.

В 1960 г. журнал «Удобрение и урожай» и серии массовой библиотеки обмена опытом в сельском хозяйстве («Зерновые и кормовые культуры», «Технические и масличные культуры») объединяют в качестве рубрики в ежемесячный журнал «Земледелие», в круг рассматриваемых вопросов которого вошло возделывание сельскохозяйственных культур, разработка севооборотов, а также теория и практика применения удобрений.

В 1963 г. Государственный комитет химической и нефтяной промышленности при Госплане СССР и Министерство сельского хозяйства СССР восстановили журнал под названием «Химия в

сельском хозяйстве», который выходил в Госхимиздате. Состав редколлегии: В.Н. Антонов (гл. ред.), Д.А. Катренко (зам. гл. ред.), С.В. Беньковский, К.А. Гар, И.И. Гунар, М.В. Катылов, Л.И. Королев, В.В. Краснушкин (зам. гл. ред.), Н.Н. Мельников (зам. гл. ред.), К.В. Новожилов, Б.Г. Овчаренко, П.В. Попов, А.В. Соколов, В.Г. Ставлюк, Ф.В. Турчин, Г.А. Черемисинов (зам. гл. ред.), А.Ф. Шаров, Н.А. Шманенков, О.В. Яковлева. Тираж первого номера журнала составлял 1 200 экз., а в 1964 г. он достиг пика за все время издания – 63 000 экз.

В 1964 г. добавились рубрики «Новые препараты», «Обмен опытом», «В помощь лектору», «Библиография», а в 1965 г. – «Экономика», «Консультации» (вместо «В помощь лектору», которая в 1979 г. стала «Наши справки»). В это время в журнале появляются первые публикации Василия Григорьевича Минеева с соавторами [14–17], в которых представлены исследования по влиянию некорневой подкормки мочевиной озимой пшеницы сортов Степная 135, Белоцерковская 198, Безостая 1. Сделаны выводы, что некорневая подкормка мочевиной озимой пшеницы в фазах колошения и цветения – эффективный прием улучшения качества и поднятия урожайности. Белковость зерна возрастает на 1–5%, содержание клейковины на 5–20%. В Центрально-черноземной полосе под озимую пшеницу, высеваемую по занятым парам и непаровым предшественникам, необходимо вносить азотные удобрения [14, 15]. В работе [16] исследовали действие различных норм и сочетаний минеральных удобрений на урожай и белковость зерна твердой пшеницы при возделывании ее на выщелоченном черноземе, а также влияние некорневой подкормки растений мочевины в фазе колошения на качество зерна. Установили, что на выщелоченном черноземе в Центральной Черноземной зоне применение минеральных удобрений под твердую яровую пшеницу является важным агротехническим приемом в повышении урожая зерна. Наиболее эффективно полное минеральное удобрение $N_{60}P_{60}K_{60}$. Хорошо действуют на урожай парные комбинации удобрений с азотом, фосфорные и фосфорно-калийные удобрения малоэффективны. Минеральные удобрения существенно улучшают качество зерна, повышая в нем содержание белка. Важнейшая роль принадлежит азотным удобрениям. Некорневая подкормка яровой пшеницы мочевиной в фазе колошения заметно улучшает качество зерна, повышая содержание в нем белка и клейковины. Также изучали отзывчивость разных сортов озимой пшеницы на удобрения при возделывании ее в севообороте горох, озимая пшеница, свекла. Сделаны выводы, что сорта озимой пшеницы

Мироновская 808, Белоцерковская 198, Безостая 1 и Киевская 893 при посеве их по гороху на выщелоченном черноземе наиболее отзывчивы на удобрения. Азотное удобрение в этом случае способствовало не только существенному повышению урожая, но и значительному накоплению белка и клейковины в зерне. Внесение азота 30 кг/га в фазе колошения озимой пшеницы способствовало росту урожая на 1-2 ц/га и повышению белковости зерна до стандарта на сильные пшеницы. В работе [17] изучали эффективность различных норм и сочетаний минеральных удобрений при внесении их под твердую яровую пшеницу сорта Харьковская 46. Сделан вывод, что на выщелоченном черноземе ЦЧО твердая яровая пшеница при посеве ее после пропашных предшественников весьма отзывчива на азотные удобрения. Фосфорное и фосфорно-калийное удобрения без азотных не эффективны.

В 1971 г. в журнале опубликована статья заведующего кафедрой, академика ВАСХНИЛ Николая Сергеевича Авдонина «Влияние почв на качество растительной продукции» [18], в которой автор изучал влияние свойств почв и удобрений на биологическую ценность сельскохозяйственных растений. Установлено, что степень окультуренности почвы влияет на величину и качество урожая. На хорошо окультуренных почвах в растительной продукции содержится значительно больше белка, причем лучшего качества, чем на слабоокультуренных почвах. Содержание углеводов в растениях на слабоокультуренных не ниже, чем на хорошо окультуренных, а содержание аскорбиновой кислоты даже выше. Каротина в растениях значительно больше на хорошо окультуренных почвах. Свойства почвы оказывают влияние на качество продукции в процессе хранения. Чем больше окультурена почва, тем лучше сохранились выращенные на ней брюква и турнепс. Кислая реакция среды нарушает углеводный, белковый и фосфатный обмен в растениях и, как правило, ухудшает качество растительных продуктов. Подвижные формы алюминия понижают содержание белка и углеводов в растениях, ухудшают фракционный состав белка. В растениях увеличивается содержание небелковых форм азота. Подвижные формы алюминия отрицательно влияют на образование в растениях аскорбиновой кислоты и каротина. На известкованных почвах в растениях увеличивается содержание каротина и белка.

В 1974 г. статье сотрудников кафедры Каплуновой Л.С., Сарбаева А.Н. и Михайлова Ю.И. [19] представлены исследования новых формы комплексных удобрений – карбоаммофоса в вегетационных опытах с просом и кукурузой. Установили, что на кислой и

известкованной дерново-подзолистой почве комплексное концентрированное азотно-фосфорное удобрение – карбоаммофос – положительно действовало на урожай проса и кукурузы (зеленая масса). Карбоаммофос в повышенной дозе (0,1 г на 1 кг почвы) оказывал неблагоприятное влияние на первоначальное развитие кукурузы. В процессе роста растений признаки отрицательного воздействия исчезали. Карбоаммофос – физиологически кислое удобрение, поэтому при повторном внесении его в кислую почву агрохимические показатели последней ухудшались. На фоне известки указанное явление проявлялось очень слабо.

В 1975 г. в публикации В.Г. Минеева с соавторами [20] «О повышении эффективности удобрений в центрально-черноземной зоне» доказано, что на эффективность удобрений сильно влияет уровень агротехники. Этот фактор сдерживает рост урожайности и получение надлежащего эффекта от удобрений применительно к сахарной свекле, кукурузе, картофелю. Некондиционный посевной и посадочный материал, недостаточная густота насаждений, несвоевременный уход за посевами резко (в 1,5-2,0 раза) снижают эффективность удобрений. Важное значение имеют выбор оптимальных сроков посадки и способов внесения удобрений с учетом зональных особенностей. Азотные удобрения дают высокий эффект при внесении осенью под основную обработку почвы, весной под культивацию и в подкормку в течение вегетации. В степной зоне эффективность подкормок заметно снижается. При достаточно высоких нормах основного удобрения эффективность припосевного удобрения снижается. Следует правильно подбирать формы удобрений. Мочевину, например, следует использовать для подкормки озимых лишь сразу после схода снега. На лугах и пастбищах при поверхностном внесении целесообразно применять аммиачную селитру и сульфат аммония. Высокоэффективные сложные удобрения – аммофос, диаммофос, нитроаммофос и диамонитрофоска более эффективны, они требуют меньше затрат на транспортировку и внесение». Сделан вывод, что правильное использование минеральных удобрений с учетом основных факторов, определяющих их эффективность, позволит получить от каждого килограмма питательных веществ туков высокую отдачу, что внесет заметный вклад в повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

В 1977 г. важной итоговой работой стала публикация Н.С. Авдониной «Некоторые итоги агрохимической науки за 60 лет Советской власти» [21]. Отмечено, что в стране сложился ряд крупных научных коллективов, ведущих плодотворную научно-исследовательскую

работу по агрохимии. В 1964 г. организована государственная агрохимическая служба, научно-методическое руководство ею осуществляет Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНО) с сетью филиалов и более 200 зональных агрохимических лабораторий, проводящих наряду с анализом почв и кормовых, полевые опыты, разрабатывающих и внедряющих в сферу агрохимического обслуживания сельского хозяйства математические методы исследований. Благодаря достижениям агрохимиков составлен прогноз развития химизации сельского хозяйства страны на период до 2000 г. исследования советских ученых за 60 лет Советской власти представляют крупный вклад в агрохимическую науку, призванную решать важнейшие вопросы преобразования сельского хозяйства.

В 1984 г. в работе авторского коллектива под руководством В.Г. Минеева [22] изучали эффективность полного минерального удобрения в нормах от 100 до 200 кг/га д.в. каждого компонента при замене части хорошо растворимого азота мочевины (Nm) на азот МФУ (Nmфу), а также исследовали влияние сочетания Nm + Nmфу на качество продукции. Сделали выводы, что на слабо- и среднеокультуренной дерново-подзолистой почве полное минеральное удобрение оказалось наиболее эффективно в норме $N_{100}P_{100}K_{100}$. Увеличение ее до 150-200 кг/га каждого компонента не сопровождалось дальнейшим ростом урожая. Замена части азота мочевины на азот МФУ не дала положительного результата ни на слабо-, ни на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве как при однократной, так и при ежегодном применении туков в течение 3 лет.

В 1984 г. в журнале появилась новая рубрика «На проектно-исследовательских станциях и в лабораториях». В 1985 г. журнал стал теоретическим и научно-производственным. Главным редактором стал к.с.-х.н. Николай Сидорович Беспятых.

В 1986 г. опубликовал статью В.Г. Минеева с соавторами «Фактор гумуса при интенсивном применении минеральных удобрений» [23], в которой изучали роль содержания в почве гумуса и питательных веществ в формировании урожая зерновых культур на дерново-подзолистых известкованных до полной гидrolитической кислотности почвах. Установили, что в условиях интенсивного применения минеральных удобрений на известкованных дерново-подзолистых почвах существенным резервом в повышении продуктивности зерновых культур является гумус почвы. На фоне возрастающих (от 100 до 200 кг/га) доз NPK увеличение содержания гумуса в почве на 1% обеспечивало повышение продуктивности звена севооборота на 25%, что составило не менее 10 ц/га корм.ед. в среднем за год.

Осенью 1987 г. журнал «Химия в сельском хозяйстве» был передан ВО «Агропромиздат» и № 1 – 1988 г. получил название «Химизация сельского хозяйства», так как в издательстве был журнал «Защита растений», который по мнению дирекции тоже был о химии в сельском хозяйстве. Журнал полностью сменил свой облик и формат (его можно было положить в широкий карман), но не потерял своей важности. В состав редколлегии входили: Г.И. Алергант, И.Г. Важенин, Н.В. Войтович, А.И. Волков (зам. гл. ред.), Ю.А. Вяткин, Н.С. Беспярых (глав. ред.), В.С. Груздев, В.М. Габидуллин, Л.М. Державин, В.Ф. Кармышов, Ю.И. Касицкий, Д.А. Кореньков, А.И. Кушков, И.А. Мельник, А.И. Мигач, Э.Ф. Нейгебаур, П.Д. Попов, А.В. Постников, В.И. Сахненко, В.А. Светов, В.Г. Уточкин, В.В. Шувалов. Позднее членами редколлегии стали: И.М. Богдевич, В.Ф. Ладонин, А.И. Мячин, В.И. Панасин, И.Н. Чумаченко. Тираж составлял 11000-13000 экз.

В 1987-1988 гг. в журнале опубликован цикл работ В.Г. Минеева с учеными кафедры, посвященных качеству растениеводческой продукции [24 - 27]. В частности исследовали влияние длительного систематического применения возрастающих доз минеральных удобрений на содержание валового и подвижного фтора в почве и общего фтора в корнеплодах кормовой свеклы. Установили, что использование возрастающих доз полного минерального удобрения, в состав которого входит двойной суперфосфат, загрязненный фтором, сопровождается увеличением содержания в почве подвижных форм фтора, экстрагируемых ЭДТА, и соответственно повышением уровня фтора в корнеплодах кормовой свеклы, выращенной на этой почве.

Ученые кафедры изучали влияние длительного систематического применения возрастающих доз минеральных удобрений на содержание кадмия в почве и поступление его в клубни картофеля сорта Домодедовский. Установили, что уровень валового кадмия не превышал 1 мг/кг почвы и не зависел от доз удобрений. Водорастворимый кадмий в почве всех вариантов отсутствовал. Содержание подвижных форм кадмия в почве горизонта 0-20 см изменялось от 70 мкг/кг в контрольном варианте до 280 мкг/кг в варианте без фосфорного удобрения. Различия подвижных форм при возрастании доз удобрений были незначительны. Более кислая реакция почвенного раствора не приводила к увеличению содержания подвижных форм кадмия в почве. В варианте без фосфорного удобрения содержание подвижного кадмия превышало уровень контроля в 4 раза.

В работах [24-26] изучен баланс микроэлементов, в т.ч. и таких тяжёлых металлов как Pb, Cr, Ni в системе почва-растение при

25-летнем применении удобрений. Установили, что ежегодное внесение удобрений в дозе 80-150 кг/га д.в. NPK или 10 т/га навоза на известкованном фоне (4 т/га известковой муки за ротацию) не обеспечивает положительного баланса в тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве. При дальнейшем сохранении таких систем удобрения почвы дефицит Zn будет возрастать, и станет необходимым его внесение. Длительное применение удобрений не привело к накоплению валовых и подвижных форм Pb, Cr, Ni в почве сверх ПДК, баланс Pb, Ni за звено севооборота складывался отрицательно. Однако содержание ТМ в растениях может быть при этом выше допустимой нормы, требуется контролировать содержание микроэлементов, в т.ч. ТМ в системе почва-растение.

Внимание исследователей также было обращено на условия выращивания картофеля, опасные накопления токсикантов в клубнях, а также условия, обеспечивающие возможность получения высоких урожаев удовлетворительного качества [27]. Установили, что наиболее высокое содержание нитратов отмечено в клубнях, выращенных без фосфорных удобрений. По мере хранения содержание токсикантов в клубнях картофеля всех вариантов сокращалось. Факторами, способствующими накоплению нитратов в клубнях раннего сорта, являются: использование повышенных доз минеральных удобрений (в т.ч. азотных выше 160 кг/га), исключение фосфора из состава удобрений и отсутствия известкования почвы. При наличии одного из трёх перечисленных факторов содержание нитратов в клубнях возрастает в 2,5-4 раза. Использование умеренных доз полного минерального удобрения на произвесткованной дерново-подзолистой почве дает возможность получать высокие урожаи раннего картофеля удовлетворительного в гигиеническом отношении качества.

В № 1 за 1989г. в статье В.Г. Минеева «Проблемы повышения плодородия почв Нечерноземной зоны РСФСР» [28], рассмотрены реальные основы для выполнения комплексной Программы развития Нечерноземной зоны РСФСР на 1988-1995 гг. Сделан вывод, что реализация программы плодородия возможна только при создании соответствующей материально-технической базы. Каждое хозяйство должно приобрести такое количество удобрений, которое может правильно хранить и вовремя и высокоэффективно вносить имеющейся техникой, поэтому удобрения нужно не распределять, а продавать. Правильная работа с удобрениями требует высокой профессиональной подготовки, глубоких знаний не только специалистов, но и земледельцев массовых профессий. Сделан вывод, что

успешное решение проблемы плодородия почв Нечерноземной зоны РСФСР вполне возможно, если использовать достижения науки, опыт лучших хозяйств, укреплять и развивать материально-техническую базу химизации и повышать квалификацию кадров.

В этом же году в публикациях Геннадия Акимовича Соловьева с соавторами [29, 30] показано действие минеральных удобрений на содержание макро- и микроэлементов в сухом веществе трав в условиях Средней Сибири. Удобрения вносили поверхностно в один приём в начале июня. Установили, что наибольшие прибавки урожайности сухого вещества на дерновой и дерново-луговой почвах получены при внесении $N_{56}P_{40}K_{50}$. Более высокие дозы удобрений на дерновой почве были менее эффективными из-за низких запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое, а на луговой – вследствие избыточного увлажнения. Прибавки увеличивались на дерново-луговой почве, где сложились оптимальные почвенно-экологические условия для развития растений. Установили, что на пойменных травостоях подтаежной зоны Красноярского края содержание Р в травах в вариантах без удобрений было ниже нормы. На дерновой почве фосфорные удобрения оказались менее доступными растениям, чем на луговых, из-за быстрого иссушения дернины, что повлияло на накопление этого элемента травами. Содержание кальция в сухой массе травы колебалось от 0,51 до 0,75%, что соответствовало норме. Содержание калия в кормах было высокое, в злаковых травах в среднем 2,5%. Содержание магния не изменялось, оставаясь на 0,16-0,20%. Количество натрия в травостое составило 0,03%. Отношение $K:Ca+Mg$ превысило норму (2,2-2,4) в варианте с максимальными дозами на дерновой почве. Также изучали влияние минерального питания и разной степени окультуренности почв на урожай и качество тритикале. Установили, что новые линии тритикале отличаются высокой продуктивностью и могут возделываться как на средне-, так и слабоокультуренной почвах Московской обл. Выявлена высокая отзывчивость линий тритикале на внесение минеральных удобрений. Доза $N_{150}P_{180}K_{210}$ оптимальна на обеих почвах. Эффективность минеральных удобрений на слабоокультуренной почве на 20% меньше, чем на среднеокультуренной. Некорневая подкормка – эффективное средство повышения качества зерна тритикале. При помощи некорневой подкормки и окультуривания почв можно увеличить содержание белка в зерне на 2,3%.

В 1991 г. В.Г. Минеев в работе «Агрохимия в агроэкосистеме» [31] рассмотрел основные причины загрязнения окружающей среды

удобрениями и непроизводительного их использования. Для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо на 1 га севооборотной площади ежегодно вносить не более 200 кг азота. Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности. Потери калия более значительны, чем фосфора, его вымывание составляет 5-10 кг/га. Научно обоснована система агромероприятий, снижающих поступление радионуклидов в продукцию растениеводства. Для снижения поступления тяжелых металлов из почвы в растения необходимо известкование кислых почв. Калийные удобрения существенно сдерживают развитие грибных болезней на растениях, т.к. калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия. Систему удобрений в севообороте необходимо строить с учетом оптимального калийного питания растений [31].

В 1991 г. В.В. Попов и Г.А. Соловьев в работе «Контроль загрязнения почв тяжелыми металлами» [32] изучали поведение ТМ в почвах и др. объектах агроэкосистем. Для комплексной характеристики элементного состояния почв со слабокислой и кислой реакцией среды предлагается использовать одновременно 3 экстрагента: 1н. HCl, аммонийно-ацетатный буфер (NH₄Ac) pH 4,5; 1%-ный раствор ЭДТА в аммонийно-ацетатном буфере (pH 4,5). Мониторинг на содержание ТМ можно проводить параллельно с определением уровней обеспеченности биомикроэлементами. Практическое применение предложенных градаций позволит осуществить обоснованное применение организационных, агротехнических и агрохимических мероприятий, направленных на рациональное использование земельных ресурсов. Периодичность соответствующих наблюдений для почв, предназначенных для выращивания культур диетического питания должна быть иной (1 раз в 3 года с использованием как 1 н. HCl, так и аммонийно-ацетатного буфера с ЭДТА) по сравнению с другими случаями (1 раз в 5 лет) [32].

В 1992 г. журнал возглавил к.с.-х.н. Вячеслав Александрович Макаренко и в номерах 2 и 4 редакция опубликовала анкету, в которой представила читателям несколько вариантов названий: «Химизация сельского хозяйства», «Химия в сельском хозяйстве», «Удобрение и Урожай», «Плодородие и Урожай», «Плодородная нива». В результате анкетирования большинство читателей (более 50%) остановилось на названии «Химия в сельском хозяйстве», так как оно более полно отвечает содержанию и тематике журнала. Такое же решение принял

учредитель – Совет объединения «Россельхозхимия» и под таким названием журнал начал выходить с января 1993 г. В составе редколлегии появились: А.М. Артюшин, В.Я. Евсюков, С.Ф. Маслов, И.И. Прохорова, Ю.Ф. Федоров. С этого времени учредителем журнала становится Министерство сельского хозяйства РФ. На страницах журнала значительное место стало уделяться работе специалистов центров и станций Государственной агрохимической службы, которая в 2019 г. отметила свой 55-летний юбилей. В 1994 г. главным редактором журнала становится Ирина Ивановна Прохорова, работавшая в редакции с 1986 г. и ныне возглавляющая АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве». Тираж журнала в этот период – 3 000 экз.

В 1993 г. своей новой публикации [33] В.Г. Минеев пишет: «Агрохимия переживает сложный период своего развития. Наиболее стойкая часть ученых последовательно отстаивает научные истины и позиции агрохимии. Поэтому возникла необходимость организации агрохимиков в Международную ассоциацию. Нужно возродить славу агрохимии, восстановить и развивать деловые дружественные связи между учеными бывших республик СССР, которые были долгие годы залогом наших общих успехов. Ассоциация будет вести производственную, хозяйственную и издательскую деятельность, направленную на выполнение уставных задач. Только так можно добиться прогресса в развитии агрохимии как науки, ее практической результативности».

С переходом на рыночные отношения резко сократились объёмы применения средств химизации из-за непомерного скачка цен на минеральные удобрения, в журнале появилась рубрика «Нетрадиционные удобрения и новые виды органических удобрений». Вопросам вермикомпостирования в 1994 г. была посвящена работа авторского коллектива под руководством В.Е. Лазарчика [34]. Переработанная червями органическая масса по сравнению с традиционным компостированием повышает коэффициент гумификации в 1,7-2,5 раза. В вермикомпосте по сравнению с субстратом в 3 -3,5 раза выше число бактерий, за исключением споровых форм, возрастает доля дрожжей и азотобактерий (до 30% более разнообразен видовой состав микрофлоры. В вегетационных опытах происходило улучшение свойств почвы, микробиологический и ферментативной активности под воздействием вермикомпоста, а изучаемые культуры (редис, салат, укроп, картофель) проявили высокую отзывчивость на уровень обеспеченности питательной среды и повысили урожай зеленой массы на 35-40%.

Продолжением таких исследований стала публикация совместно с кафедрой химии почв [35]. Авторы изучали возможности использования препарата ГУМИ-БАШИНКОМ в качестве нетрадиционного удобрения и детоксикации почв полиметаллического загрязнения. Установили, что препарат на загрязненных ТМ почвах показал высокую эффективность. Он характеризуется более высокими детоксицирующим действием по сравнению с известью, причем его преимуществом является незначительные трудозатраты на внесение и сравнительно небольшое по массе количество. Препарат положительно влияет на урожайность овса и вики, при этом установлено возрастание такого важного показателя качества однолетних трав как содержание белкового азота. Оптимальная доза внесения препарата на почвах полиметаллического загрязнения составляет 8 кг/га.

В 1996 г. коллектив авторов в своей работе «Почвенное плодородие и содержание тяжелых металлов в растениях» [36] представил пути снижения поступления ТМ с растительной пищей, выращенной на загрязненных почвах. Изучали закономерности поступления ТМ в растения в зависимости от уровней загрязнения почв и их агрохимических свойств (реакция среды, гранулометрический состав, содержание гумуса). Сравнение эффективности одинаково возрастающих доз извести, цеолита, навоза и их сочетаний при загрязнении дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы смесью Cd, Zn, Pb показало, что известкование оказалось единственным действенным фактором, уменьшающим поглощение ТМ растениями. Внесение возрастающих доз органических удобрений и цеолита не отразилось на продуктивности моркови и столовой свеклы (примененные с дозами этих веществ не вошли в уравнение регрессии) и значительно уступало извести по снижению токсичности ТМ. Исключение составляет кадмий: при всех изученных дозах (5-40 т/га) извести, органических удобрений, цеолита и их сочетаний содержание элемента в корнеплодах было выше гигиенически допустимого уровня. Сделан вывод, что проблема загрязнения почв ТМ многоплановая. Из всех агрохимических свойств почв прежде всего кислотность и содержание гумуса оказывает влияние на поступление ТМ в растения.

В 1998 г. в соавторстве с Иваном Николаевичем Чумаченко и Борисом Алексеевичем Сушеница вышла статья Василия Григорьевича Минеева «О положении с производством и применением фосфорных удобрений» [37]. Наибольшая урожайность сельскохозяйственных культур на фоне азотно-калийных удобрений достигается при содержании подвижного фосфора в почве свыше 200-250 мг на 1 кг

почвы. Средняя обеспеченность пашни Нечерноземной зоны фосфором - только около 130 мг/кг. Согласно прогнозу авторов содержание подвижного фосфора снизится к 2000 г на 15-20%. Потребность РФ в фосфорных удобрениях составляет 9-10 млн. т в год, а их производство – 2 млн. т. Необходимо на правительственном уровне принять экстренные меры о запрете экспорта апатичного концентрата и дефицитных фосфорных удобрений, необходима господдержка профильных предприятий и обеспечения сельского хозяйства удобрениями. Предложение о переводе всех видов фосфор-содержащего сырья, пригодного для промышленной переработки, в разряд стратегических материалов. Необходимо ускорить разработку и освоение фосфоритовых месторождений, создать в системе Россельхозакадемии и Минсельхоза РФ Федеральный научно-производственный центр «Агрохимсырье».

Накопленный в редакции огромный материал по решению экологических проблем в сельском хозяйстве привел к изданию в 1998 г. № 3 под названием «Агроэкология: проблемы и решения», затем выходящим неоднократно. В этом журнале В.Г. Минеев опубликовал свою работу «Экологические функции агрохимии» [38], в который были определены наиболее важные и изученные экологические функции агрохимии. Оптимизация питания культурных растений биогенными макро- и микроэлементами с учетом усиления деятельности физиологических барьеров, препятствующих поступлению токсических элементов в растения, особенно в генеративную их часть, составляющую продукцию растениеводства. Воспроизводство плодородия, улучшения свойств и гумусного состояния почв. Поддержание активного баланса и малого круговорота биогенных элементов в земледелии с учетом оптимального их соотношения в агроэкосистеме. Создание оптимальных культурных агрохимических ландшафтов для различных природных регионов в соответствии с их специализацией. Снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем ТМ и др. токсическими элементами. Улучшение радиоэкологической ситуации в агроэкосистеме. Регулирование биологических показателей агроэкосистемы. Улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции.

В 2000 г. С.Ю. Карпова, Соловьёв Г.А. [39] представили опыты с минеральными, органическими и органоминеральными удобрениями, систематически вносимыми в почву в течение 25 лет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Минеральные удобрения: ам-

миачная селитра, двойной суперфосфат и 40%-ная калийная соль. Внесение органического удобрения на известкованном фоне способствовало иммобилизации доступных форм ТМ. Усиление мобилизации в почве некоторых элементов-загрязнителей под влиянием минеральных удобрений приводило к их аккумуляции в растениях. Минеральные удобрения снижали концентрацию хрома в сене клевера, зерне овса и свинца в клубнях картофеля, что связано с уменьшением подвижности металлов в почве. Длительное внесение органических удобрений снижало поглощение никеля, свинца всеми культурами звена севооборота. Комплексное применение известкования в сочетании с минеральными и органическими удобрениями значительно уменьшало накопление элементов-загрязнителей растениями. Количество кадмия при совместном внесении органического удобрения и извести в культурах снизилось в 3-4 раза относительно варианта, где использовалось только минеральное удобрение. Концентрация свинца в зерне овса и картофеля сократилось в 2 раза. Длительное использование удобрений не привело к накоплению ТМ в клубнях картофеля и зерне овса, в количествах, превышающих КПД. Сделан вывод, что средства химизации, применяемые в агрономически целесообразных дозах, не являются потенциальными источниками загрязнения дерново-подзолистой почвы и растительной продукции ТМ даже при длительном сроке их внесения. Можно говорить только о тенденции повышения накопления отдельных ТМ в растениях в пределах ПДК.

В 2000 г. коллектив авторов в своей работе «Влияние известкования на поступление ТМ в растения [40] показали пути (в частности, известкованием) обезопасить человека от поступления ТМ с растительной пищей, выращенной на почвах, загрязненных ТМ. Изучали корреляционную зависимость между накоплением ТМ в растительной продукции и уровнем загрязнения дерново-подзолистой почвы кадмием, цинком и свинцом, а также влияние различных доз извести на снижение поступления ТМ в растения. Установили, что на хорошо окультуренной почве под воздействием известкования наблюдалось активное поступление Cd и Si в корнеплоды, причем с увеличением доз известковых удобрений содержание Cd и Si достоверно увеличивалось, а Zn – снижалось. Увеличение содержания Ca в почве за счет внесения повышенных доз CaCO_3 не препятствовало его поступлению в корнеплоды: вся растительная продукция не соответствовала техническим нормам в отношении кадмия и коэффициент превышения колебался в пределах от 0,8 до 3,0.

Известкование хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы не приводило к закреплению Си: с увеличением доз CaCO_3 содержание её в корнеплодах столовой свеклы и моркови увеличилось в 1,5-2,0 раза. Сделаны выводы, что известкование кислых почв дерново-подзолистого типа – высокоэффективный прием, снижающий фитотоксичность и поступление Cd, Zn, Pb в растения. Сопоставляя результаты, полученные в факториальном опыте, отмечено, что известь (CaCO_3) четко проявляла свое антитоксическое действие и препятствовала загрязнению почв ТМ. Под влиянием известкования кислых дерново-подзолистых почв фитотоксичность Cd, Zn снималась, а при внесении больших доз CaCO_3 – не проявлялась. Известь, снижая концентрации ТМ в растительных тканях, не всегда уменьшала их транслокацию из почвы в растения. Уровень доз извести, оказывающей максимальное воздействие на урожай и содержание ТМ в растительной продукции, не совпадает. Однако возможности известкования на хорошо окультуренных почвах – как способа снижения объема поступления ТМ из почвы в растения являются в определенной степени ограниченными.

В сотрудничестве с НИИСХ ЦРНЗ (Немчиновка, Московская обл.) в 2001 г. вышла статья «Изучение сортов озимой пшеницы на разных фонах весенней азотной подкормки», в которой авторы изучали реакцию сортов озимой пшеницы на различные фоны азотного питания в виде аммиачной селитры (N_{60} , N_{90} , N_{120}) при весенней подкормке [41]. Анализ структурных элементов колоса показал чёткую закономерность увеличения числа зерен в колосе при повышении дозы азота по обоим сортам. По другим показателям такой закономерности нет. Масса 1000 зерен в дозе N_{120} снижается (в контроле у Зари – 53,3 г, в N_{120} – 48,6 г, у Эритроспермума 281 соответственно – 55,6 и 50 г). При изучении качественных и количественных показателей сортов Зари и Эритроспермума 281 отмечали индивидуальный характер реакции на изменение дозы азотной подкормки. По большинству показателей сорт Эритроспермум 281 давал наилучшие результаты в варианте N_{120} , а Заря – в N_{90} . Одна из причин – полегание сорта Заря. При этом в дозе N_{90} у Эритроспермума 281 прибавку наблюдали по большинству показателей в отношении к Заре в этом же варианте.

В этом же году Татьяна Николаевна Большева с соавторами [42] представили влияние рельефа и различных систем удобрения на свойства почвы, урожай многолетних трав и качество растительной продукции. Сделан вывод, что рельеф оказывает значительное влияние на свойства почвы, урожай и качество растительной продукции.

Различия по элементам склона могут быть более значительными, чем по агрохимическим фонам, т.е. влияние рельефа настолько сильно, что его нельзя сгладить внесением органических и минеральных удобрений. Даже на небольшой площади (несколько га) под влиянием процессов эрозии формируются почвы, сильно различающиеся по физико-химическим и агрохимическим показателям. Почвы на склонах длиной всего несколько сот метров отличаются друг от друга по степени смытости. Большое значение имеет форма и крутизна склона. На одной относительной высоте могут находиться разные по степени смытости почвы. На выпуклых склонах в верхней выровненной части располагаются несмытые почвы, в средней – смытые. На прямых и выгнутых склонах смытые почвы приурочены к верхней части склона, в нижних частях склонов – несмытые почвы. При равномерном внесении минеральных и органических удобрений невозможно выровнять свойства почвы в склоновых агроценозах, т.к. процессы плоскостной эрозии происходят постоянно. На таких пашнях целесообразно контурное внесение удобрений для повышения плодородия смытых почв.

В сотрудничестве с ВНИИ органических удобрений и торфа (Вяткино, Владимирская обл.) изучали возможности снижения биодоступности тяжелых металлов (ТМ) при использовании осадков сточных вод (ОСВ), прокомпостированных с торфом (соотношение ОСВ: торф в компосте – 1:1) [43]. Опыт проводился на дерново-подзолистой супесчаной почве Владимирской обл. ОСВ были загрязнены кадмием, никелем и хромом выше КПД. Разбавление ОСВ торфом при компостировании снизило до безопасного уровня содержание только Ni и Cr. Количество доступных форм ТМ в почве имело очень высокие коэффициенты корреляции с содержанием и валовых форм: 0,99-0,98 для кадмия, 0,98-0,76 для никеля и 0,9700-0,80 для хрома. Наиболее достоверные зависимости отмечены между биодоступными формами кадмия, никеля и хрома в почве с содержанием их в вегетативной массе растений. Связь между содержанием ТМ в почве и репродуктивными органами культур менее тесная. Сделан вывод, что выращивание клевера – перспективный прием закрепления ТМ, что снизит миграцию металлов по почвенному профилю. Использование торфа также эффективный прием снижения биодоступности ТМ при использовании невысоких доз ОСВ.

В 2003 г. опубликованы дальнейшие исследования Надежды Владимировны Верховцевой по вермикомпостированию [44], которые проводили как традиционными микробиологическими методами, так

и при помощи молекулярного метода газовой хроматографии-масс-спектрометрии. Установили, что общая численность микроорганизмов, изучаемых вермикомпостов (ВК) была достаточно велика и составляла 1×10 кл/г, микробные сообщества ВК на основе навоза КРС (ВКН) и на основе осадка сточных вод (ВКО) отличаются незначительно: 35 видов из 28 родов и 24 вида из 24 родов соответственно для ВКО и ВКН. ВК не содержит кишечную палочку. ВКН больше содержит актиномицетов (в 2,5 раза), коринеформных бактерий и грибов (в 3 раза), т.е. в нем в большей степени активизированы микроорганизмы, отвечающие за разложение более сложных органических веществ.

С 2005 г. журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) на сайте российской научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru). В настоящее время этот агрегатор выступает главным «мерилом» публикационной активности ученых и преподавателей.

В 2006 г. Т.Н. Болышевой были продолжены публикации, посвященные ОСВ [45]. Изучали длительное систематическое применение возрастающих доз осадков сточных вод (ОСВ) на фоне различных доз извести, а также их последствие на агрохимическую обстановку в агроландшафте. Рассмотрены варианты с минимальной (15 т/га) и максимальной (15 т/га) дозами. Установили, что длительное систематическое применение в качестве органических удобрений ОСВ приводит к существенным экологическим нарушениям в агроценозе, что связано с полиметаллическим загрязнением почвы. Улучшение агрохимических свойств почвы при систематическом внесении ОСВ не может служить основанием для их применения в качестве органического удобрения.

В 2010 г. журнал стал Лауреатом Национальной премии имени П.А. Столыпина «Аграрная Элита России» в номинации «Пропаганда новых технологий и научных достижений в повышении плодородия и возрождении земель сельскохозяйственного назначения». Не забывают в журнале и о будущих поколениях агрохимиков, почвоведов и агроэкологов, для которых существует рубрика «Работы молодых ученых».

С 2012 г. главным редактором журнала стал к.с.-х.н. И.С. Прохоров, работающий в редакции со студенческой поры и который в настоящее время готовит материал для докторской диссертации.

С 2015 г. журнал включен в базу данных российских научных журналов Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Также подтверждено включение журнала с 1963 г. в международную базу данных химических научных журналов Chemical Abstracts (CAS (pt)), осуществлена регистрация в международной исследовательской базе данных Research Bible. С 2018 г. статьям, публикуемым в журнале, присваивается Digital Object Identifier (DOI) на базе Российской государственной библиотеки (www.cyberleninka.ru).

В 2016 г. В.Г. Минеев представил историческую статью «О научно-педагогической деятельности Д.Н. Прянишникова в Московском университете» [46]. Отмечается, что МГУ можно считать колыбелью агрохимической науки в России. Здесь профессором М.Г. Павловым в 1825 г. был издан первый учебник «Земледельческая химия», а в 1863 г. открыта первая кафедра агрохимии. В 1883 г. Д.Н. Прянишников поступил в МГУ на математическое отделение физико-математического факультета, но после 1-го курса перешел на естественный факультет. Здесь он защищает магистерскую диссертацию. По его утверждению, в своей работе он больше всего внимания уделял исследованиям в области агрономической химии и физиологии растений.

В том же году опубликована работа Людмилы Петровны Ворониной с А.П. Барановым и М.И. Луневым, в которой изучали возможные факторы снижения эффективности биотестирования с использованием инфузорий при оценке загрязнения почвы ТМ [47]. Проведено обоснование необходимости использования комплекса биотестов элюатного и контактного типов. Сделан вывод, что метод оценки токсичности ТМ почвы на основе биотестирования водного экстракта из почвы с использованием инфузорий имеет существенные ограничения, связанные как с низким выходом ТМ в водный экстракт, так и с образованием в данном экстракте хелатированных и комплексных соединений, не проявляющих токсических эффектов на данную тестокультуру в ходе 1-3-суточного биотестирования. Комплекс биотестов для определения почвенной токсичности должен включать как элюатный, так и контактный метод. Их совокупность позволяет давать объективную оценку загрязнения почвы прочно закрепленными и малорастворимыми токсикантами, создающими хроническую токсичность, такими ТМ как хлорорганические пестициды, полиароматические углеводороды, продукты загрязнения нефтью и т.п.

Продолжая публикации молодых ученых в 2018-2019 гг. выходят статьи под руководством Н.В. Верховцевой и Т.Н. Болышевой [48, 49]. Рассмотрено влияние гуминовых препаратов (ГП) при выращивании сельскохозяйственных культур на аллювиальной дерновой (Воронежская обл.) и дерново-подзолистой (Московская обл.) почвах на фоне внесения полного минерального удобрения. Показан положительный эффект применения ГП, который проявился в улучшении урожайности и товарности картофеля, увеличения доли крупной фракции урожая. Применение ГП в условиях Воронежской области. позволило снизить дозу внесения минеральных удобрений без ухудшения параметров структуры урожая. Внесение в почву ГП положительно отразилось на общей урожайности и массе зерен ячменя. Также изучали влияние известкования и 3 видов минеральных удобрений на рост и развитие саженцев сирени обыкновенной, а также на обеспеченность тканей растений элементами минерального питания в Тульской обл. Установили, что весеннее применение минеральных удобрений с выровненным соотношением азота, фосфора и калия позволяет значительно усилить рост и повысить декоративные качества саженцев сирени. Высокие дозы доломитовой муки и фосфора оказывают негативное влияние на рост и развитие саженцев сирени, причиной чего может служить снижение доступности микроэлементов и дисбаланс элементов питания.

Крайней на сегодняшний день публикацией ученых кафедры агрохимии и биохимии растений МГУ им. М.В. Ломоносова в журнале «Агрохимический вестник» остается публикация творческого коллектива совместно с Институтами экологии и эволюции им. А.Н. Северцова и Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН [50]. Изучали роль селена в общем обмене в растении. Установлена взаимосвязь с основными элементами метаболизма (NPK) и ее динамика в зависимости от уровня питания растений. Фолиарная обработка селенитом натрия способствовала высокому коэффициенту использования селена из селенита. Концентрация селена в растительном материале зависела от используемой концентрации селена (от 50 до 500 мг/л) и от уровня обеспеченности почвы основными элементами питания (NPK). Селен усиливал поступление азота и калия в растения ячменя. Применение селенита натрия фолиарно на растениях ячменя в фазе начала кущения в концентрации 500 мг/л на фоне высоких доз минеральных удобрений (150-200 мг/кг почвы д.в. NPK) способствовало поддержанию данного элемента на оптимальном уровне.

Благодаря обновлению Перечня ВАК РФ, в журнале «Агрохимический вестник» в настоящее время публикуются материалы по многим специальностям и отраслям науки: микробиология (сельскохозяйственные науки); экология (биологические и химические науки); почвоведение (биологические, сельскохозяйственные и химические науки); общее земледелие растениеводство (биологические и сельскохозяйственные науки); агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (биологические, сельскохозяйственные и химические науки). Одним из направлений публикаций благодаря этому стали исследования по оценке земель, а также в особо охраняемых природных территориях (заповедниках и национальных парках).

Редакции журнала остается надеется, что активное сотрудничество с учеными кафедры агрохимии и биохимии растений Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова будет более динамично и взаимовыгодно развиваться и пожелать коллективу преподавателей, ученых, в том числе молодых аспирантов и докторантов, успехов и крепкого здоровья!

Литература

1. Прохорова И.И. Из истории журнала // Химия в сельском хозяйстве, 1993, № 1-2. – С. 4-5.
2. Пирумова Л.Н., Садовская Л.К. Система информирования по вопросам экологически безопасных технологий в АПК // Агрохимический вестник, 2017, № 3. – С. 60-64.
3. Пирумова Л.Н., Милевская И.А. Тезаурус как система отражения состояния предметной отрасли «Регуляторы роста» // Агрохимический вестник, 2018, № 6. – С. 61-64.
4. Пирумова Л.Н. Листая страницы издания: к юбилею журнала «Агрохимический вестник» // Агрохимический вестник, 2019, № 3. – С. 8-14.
5. Прохоров И.С. От истории публикаций по агрохимии до юбилея научного журнала // Агрохимический вестник, 2019, № 3. – С. 3-7.
6. Осипов А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России // Агрохимический вестник, 2019, № 3. – С. 28-36.
7. Ткачева Е.В., Ивановский А.А. «Агрохимический вестник» в базе данных Web of Science // Агрохимический вестник, 2019, № 4. – С. 74-77.
8. Прохоров И.С. История научных публикаций по агрохимии / I Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах» Материалы Международной

научной конференции (19-22 ноября 2019 г.). – Пермь: ФГБОУ ВО «Пермский ГАТУ им. академика Д.Н. Прянишникова». – С. 459-465.

9. Прохоров И.С. Из истории публикаций по агрохимии / Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири: сборник научных статей, посвященный 70-летию академика РАН Храмцова Ивана Федоровича, 95-летию основания отдела земледелия (Омск, 5 февраля 2020 г.). – Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. – С. 99-108.

10. Прохоров И.С. Роль научного журнала в освещении вопросов агрохимии, радиологии и агроэкологии (на примере истории журнала «Агрохимический вестник») / Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: (к 50-летию со дня образования ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии): сборник докладов международной научно-практической конференции (Обнинск, 16-18 сентября 2020 г.). – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. – С. 291-294.

11. 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.

12. Прохоров И.С. Первый номер журнала «Химия в сельском хозяйстве» // Агрохимический вестник, 2021, № 1. – С. 81.

13. Прохоров И.С. 65 лет возобновления выпуска журнала «Удобрение и урожай» // Агрохимический вестник, 2021, № 1. – С. 82.

14. Пронин М.Е., Минеев В.Г. Поздняя подкормка озимой пшеницы мочевиной как прием улучшения качества зерна // Химия в сельском хозяйстве, 1964, № 5. – С. 8-10.

15. Минеев В.Г., Гончаров В.А. Действие минеральных удобрений на урожай и качество зерна твердой яровой пшеницы // Химия в сельском хозяйстве, 1968, № 1. – С. 2-4.

16. Минеев В.Г., Лукин Л.Ю. Влияние минеральных удобрений на урожай и белковость зерна разных сортов озимой пшеницы // Химия в сельском хозяйстве, 1969, № 11. – С. 10-12.

17. Минеев В.Г., Гончаров В.А. Удобрение твердой яровой пшеницы при возделывании ее по пропашным предшественникам на выщелоченном черноземе // Химия в сельском хозяйстве, 1970, № 2. – С. 12-13.

18. Авдонин Н.С. Влияние почв на качество растительной продукции // Химия в сельском хозяйстве, 1971, № 3. – С. 7-12.

19. Каплунова Л.С., Сарбаев А.Н., Михайлов Ю.И. Результаты агрохимических испытаний карбоаммофоса // Химия в сельском хозяйстве, 1974, № 3. – С. 34-36.

20. Минеев В.Г., Карцев Ю.Г., Музыкантов П.Д. О повышении эффективности удобрений в центрально-черноземной зоне // Химия в сельском хозяйстве, 1975, № 2. – С. 3-8.
21. Авдонин Н.С. Некоторые итоги агрохимической науки за 60 лет Советской власти // Химия в сельском хозяйстве, 1977, № 11. – С. 21-24.
22. Минеев В.Г., Лебедева Л.А., Егоров В.С., Коротаевская Н.А., Графская Г.А., Егорова Е.В. Влияние разных норм мочевины и МФУ на продуктивность и качество зерновых культур на дерново-подзолистой почве // Химия в сельском хозяйстве, 1984, № 10. – С. 10-12.
23. Минеев В.Г., Лебедева Л.А., Егоров В.С., Коротаевская Н.А., Графская Г.А., Егорова Е.В., Тимершина З.А. Фактор гумуса при интенсивном применении минеральных удобрений // Химия в сельском хозяйстве, 1986, № 3. – С. 51-54.
24. Минеев В.Г., Грачева Н.К., Ефремов В.Ф., Черная В.И. Фтор в почве и корнеплодах кормовой свеклы // Химия в сельском хозяйстве, 1987, № 2. – С. 45-47.
25. Минеев В.Г., Грачева Н.К., Човжик В.П. Кадмий в почве и клубнях картофеля // Химия в сельском хозяйстве, 1987, № 3. – С. 56-57.
26. Минеев В.Г., Соловьева Е.И., Соловьев Г.А. Баланс некоторых микроэлементов в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений // Химизация сельского хозяйства, 1988, № 1. – С. 47-49.
27. Минеев В.Г., Грачева Н.К., Кузовлева Е.В., Мишунина М.П., Паничкина О.В., Черная В.И., Човжик В.П. Накопление нитратов и нитритов в клубнях картофеля // Химизация сельского хозяйства, 1988, № 5. – С. 50-52.
28. Минеев В.Г. Проблемы повышения плодородия почв Нечерноземной зоны РСФСР // Химизация сельского хозяйства, 1989, № 1. – С. 2-6.
29. Соловьев Г.А., Цаплин Г.В. Макроэлементы в травах при удобрении пойменных сенокосов // Химизация сельского хозяйства, 1989, № 4. – С. 67-70.
30. Соловьев Г.А., Волчанская О.Б., Давыдова А.Е. Качество зерна тритикале в зависимости от питания // Химизация сельского хозяйства, 1989, № 6. – С. 52-53.
31. Минеев В.Г. Агрохимия в агроэкосистеме // Химизация сельского хозяйства, 1991, № 3. – С. 3-10.
32. Попов В.В., Соловьев Г.А. Контроль загрязнения почв тяжелыми металлами // Химизация сельского хозяйства, 1991, № 11. – С. 80-82.
33. Минеев В.Г. Агрохимическая наука в современной экономической и экологической ситуации // Химия в сельском хозяйстве, 1993, № 5-6. – С. 3-5.
34. Лазарчик В.Е., Орлов Д.С., Овчинникова М.Ф. и др. Биологическая ценность вермикомпоста и перспективы его использования на дерново-подзолистых почвах // Химия в сельском хозяйстве, 1994, № 4. – С. 12-13.

35. Садовникова Л.К., Большеева Т.Н., Кузнецов В.И. ГУМИ-БАШИНКОМ – нетрадиционное органическое удобрение и мелиорант // *Агрохимический вестник*, 1997, № 6. – С. 11-12.
36. Овчаренко М.М., Графская Г.А., Шильников И.А. Почвенное плодородие и содержание тяжелых металлов в растениях // *Химия в сельском хозяйстве*, 1996, № 5. – С. 40-43.
37. Чумаченко И.Н., Минеев В.Г., Сушеница Б.А. О положении с производством и применением фосфорных удобрений // *Агрохимический вестник*, 1998, № 1. – С. 9.
38. Минеев В.Г. Экологические функции агрохимии // *Агрохимический вестник*, 1998, № 3. – С. 14-16.
39. Карпова С.Ю., Соловьев Г.А. Удобрения, качество продукции и окружающая среда // *Агрохимический вестник*, 2000, № 2. – С. 10-11.
40. Кузьмич М.А., Графская Г.А., Хостанцева Н.В. Влияние известкования на поступление ТМ в растения // *Агрохимический вестник*, 2000, № 5. – С. 28-29.
41. Рыбакова М.И., Сандухадзе Б.И. и др. Изучение сортов озимой пшеницы на разных фонах весенней азотной подкормки // *Агрохимический вестник*, 2001, № 1. – С. 14-16.
42. Чижова С.Л., Большеева Т.Н., Варламов В.А. Продуктивность склоновых агроценозов // *Агрохимический вестник*, 2001, № 4. – С. 35-37.
43. Алексеева А.С., Большеева Т.Н., Касатиков В.А. Снижение биодоступности тяжелых металлов при утилизации осадков сточных вод // *Агрохимический вестник*, 2002, № 3. – С. 32-33.
44. Кузьмина Н.В., Верховцева Н.В. Микробиологические свойства верми-компостов // *Агрохимический вестник*, 2003, № 1. – С. 14.
45. Большеева Т.Н., Валитова А.Р., Кижаккин П.П., Касатиков В.А. Результаты утилизации осадков сточных вод во Владимирской области // *Агрохимический вестник*, 2006, № 1. – С. 28-29.
46. Минеев В.Г. О научно-педагогической деятельности Д.Н. Прянишникова в Московском университете // *Агрохимический вестник*, 2016, № 1. – С. 46-48.
47. Баранов А.П., Воронина Л.П., Лунев М.И. Биотестирование загрязненной тяжелыми металлами почвы с использованием инфузорий // *Агрохимический вестник*, 2016, № 6. – С. 26-39.
48. Лукьянова М.В., Лукьянов С.Н., Верховцева Н.В. Продуктивность картофеля и ячменя при использовании гуминовых препаратов и минеральных удобрений в условиях микрополевых опытов на почвах Воронежской и Московской областей // *Агрохимический вестник*, 2018, № Спецвып. – С. 38-42.

49. Боровик Р.А., Большева Т.Н. Влияние доломитовой муки и минеральных удобрений на рост и развитие саженцев сирени обыкновенной // Агрохимический вестник, 2019, № 6. – С. 47-52.
50. Кирюшина А.П., Воронина Л.П., Морачевская Е.В., Павлов К.В., Кравец К.Ю. Фолиарная обработка ячменя селенитом натрия в условиях разного уровня минерального питания // Агрохимический вестник, 2020, № 3. – С. 57-62.



5. СЕКЦИИ КРУГЛОГО СТОЛА ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

- 1) УПРАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫМ ПЛОДОРОДИЕМ КАК ЗАДАЧА
РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И
ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
- 2) СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И УСТОЙЧИВОЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АГРОЛАНДШАФТОВ.**
- 3) БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ - ИНДИКАТОРЫ
СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМЫ И БАЛАНСА
ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**



Характеристика реологического поведения урбанозёмов городов Сыктывкар, Краснодар, Сочи

**Аракелова Л.И., Умарова А. Б., Бутылкина М.А.,
Хайдапова Д.Д.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12
E-mail: laraarakelova@yandex.ru*

Аннотация

Проведен сравнительный анализ реологических характеристик урбанозёмов городов Сыктывкар, Краснодар, Сочи. Исследованные почвы отличаются повышенным содержанием песчаных фракций и высокими значениями содержания углерода в верхних горизонтах. Урбочернозем г. Краснодар показал большую устойчивость к воздействию внешней нагрузки по всему профилю по сравнению с остальными исследованными почвами. Высокие значения точек Crossover образцов урбостратозема г. Сочи свидетельствуют об устойчивости структурных связей по всему профилю. Отмечается снижение значений модуля упругости и диапазона линейной вязкоупругой деформации с глубиной в урбаноземе г. Сыктывкар, и их увеличение вниз по профилю у урбостратозёма г. Сочи.

Введение

За последние 20 лет вырос интерес к улучшению качества городской среды, в котором вопросы озеленения и грамотной эксплуатации почв для градостроительства играют важную роль (Бахматова и др., 2022).

Городские почвы сильно изменчивы, и, в частности, разнообразие их физико-механических характеристик обусловлено влиянием ряда факторов: свойствами исходной естественной почвы и антропогенных включений, различными нарушениями почвенного покрова, временем начала антропогенного вмешательства, климатом и землепользованием (Rate, 2022). При оценке урбанозёмов исследователи выделяют основные проблемы, связанные с их деградацией, впоследствии отражающиеся на прочностных характеристиках – это переуплотнение поверхности, искусственное наслоение, потеря

структуры, повышенная плотность, присутствие крупных антропогенных включений, содержание и состав органического вещества. (Rate, 2022).

Множество функций, выполняемых почвенным покровом в городе, ведет к необходимости анализа его устойчивости к разного рода воздействиям.

Изучение прочностных свойств городских почв является важным для предотвращения эрозии и разрушения склонов, с одной стороны, и для обеспечения их правильной эксплуатации, с другой.

Успешное функционирование почв обеспечивается оптимальностью характеристик почвенной структуры на разных уровнях ее рассмотрения. На уровне микроструктуры устойчивость почвы можно оценить на основе реологического поведения почв в условиях возрастающей нагрузки, т.к. оно отражает различные типы связи между частицами и степень их прочности. Однако, в настоящее время реологические исследования почв городских территорий практически не представлены в научной литературе.

В зональном ряду почв прослеживаются особенности реологического поведения (Жукова и др., 2015; Умарова и др., 2021). Например, в таежной зоне при продвижении на север заметно снижается устойчивость почвенной микроструктуры к механическим воздействиям с формированием более хрупких межчастичных взаимодействий (Холопов и др., 2018). При исследовании структуры чернозёмов типичных Курской области (Хайдапова и др., 2016) было выявлено преобладание слабых коагуляционных типов связей, малоустойчивых к механическим нагрузкам.

Полагаем, что городские почвы разных почвенно-климатических зон также будут иметь черты природной зональности и одновременно - общие урбанистические характеристики.

Таким образом, цель данного исследования: провести сравнительный анализ реологических параметров урбаноземов разных почвенно-климатических зон.

Объекты и методы исследования

В рамках данной работы были изучены городские почвы следующих почвенно-климатических зон: (1) урбанозем северной тайги г. Сыктывкар, представленный агродерново-подзолистой урбостратифицированной среднесуглинистой почвой на покровном суглинке (территория института Биологии Коми РАН); (2) почва степной зоны г. Краснодар, представляющая собой урбочернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на карбонатных

лессовидных суглинках (территория КубГАУ); (3) почва субтропиков г. Сочи, представленная урбостратоземом среднемощным гидроморфизованным среднесуглинистым (территория ВНИИ цветоводства и субтропических культур).

Определение содержания общего углерода проводилось на экспресс-анализаторе АН-7529, гранулометрический состав определен методом лазерной дифракции с предварительной пробоподготовкой ультразвуком (Милановский и др., 2011).

Реологические параметры насыпных образцов почв, предварительно просеянных через сито 1 мм и подвергшихся суточному капиллярному увлажнению, определялись методом амплитудной развертки на модульном компактном реометре MCR-302 (Anton Paar, Австрия) в трехкратной повторности. Анализ данных вели по средним величинам (Хайдапова и др., 2016).

Результаты и их обсуждение:

На реологическое поведение почв в первую очередь влияют их гранулометрический состав (Sillanpaa, Webber, 1961; Edwards et al., 1967; Lehrs, 1998) и содержание углерода (Кузнецова, 1998; Шеин, Милановский, 2003; Six et al., 2000).

Расчет содержания физической глины выявил закономерно более тяжелый гранулометрический состав урбочерноземов г. Краснодар (табл. 1). Во всех исследованных почвах наблюдается преобладание фракции крупной пыли и повышенное количество песка по сравнению с почвами естественного ряда, что согласуется с литературными данными (Прокофьева и др., 2010, Прокофьева и др., 2018).

Концентрация общего углерода в профиле почв гг. Краснодара и Сочи постепенно снижается с глубиной, а в урбаноземе г. Сыктывкар наблюдается резкое падение его содержания ниже гумусового горизонта.

Значение модуля упругости (G' , МПа) снижается вниз по профилю урбанозема г. Сыктывкар, увеличивается в урбочерноземе г. Краснодар, а в профиле урбостратозема г. Сочи достигает максимума на глубине 10-20 см. Для образцов г. Сыктывкар в целом значения меньше, чем в образцах других исследуемых городов.

Представленные значения диапазона линейной вязкоупругой деформации (LVE- range, %) почв характеризуют область, в которой структура образца способна вернуться в исходное состояние. Этот показатель имеет относительно высокие величины в образцах урбочернозема, профиль слабо дифференцирован, до глубины 40 см

имеет постоянное значение. В профиле урбанозема г. Сыктывкар LVE-range снижается с глубиной. В урбостратоземе г. Сочи наибольшие значения имеют верхний и нижний горизонты.

*1. Профильное распределение физических свойств
и реологических параметров исследованных почв.*

	Гор-т, см	Сод-е физ. глины, %	C, %	W, %	G', МПа	LVE-range, % $\times 10^{-3}$	Crossover, %
Сыктывкар	URrz (0-8)	29,4	4,18	37,1 $\pm$ 3,3	0,97 $\pm$ 0,15	4,9 $\pm$ 0,00	1,52 $\pm$ 0,06
	Urao (8-30)	26,6	1,78	48,3 $\pm$ 0,6	0,86 $\pm$ 0,02	4,3 $\pm$ 0,00	1,29 $\pm$ 0,02
	P (35-65)	29,4	0,64	46,7 $\pm$ 1,2	0,84 $\pm$ 0,12	3,3 $\pm$ 0,00	1,33 $\pm$ 0,15
	BEL (75-95)	33,8	0,30	46,7 $\pm$ 0,7	0,89 $\pm$ 0,04	3,3 $\pm$ 0,00	1,91 $\pm$ 0,25
Краснодар	Urrz (0-8)	40,5	4,92	41,8 $\pm$ 0,8	0,79 $\pm$ 0,01	5,7 $\pm$ 0,00	1,69 $\pm$ 0,10
	UR1 (8-20)	47,2	3,08	37,9 $\pm$ 1,5	1,03 $\pm$ 0,07	5,7 $\pm$ 0,00	1,31 $\pm$ 0,07
	UR2 (20-40)	54,1	1,99	40,3 $\pm$ 4,6	1,29 $\pm$ 0,05	5,7 $\pm$ 0,00	1,15 $\pm$ 0,07
	AUur (40-70)	54,5	1,84	45,7 $\pm$ 1,3	1,31 $\pm$ 0,04	6,5 $\pm$ 0,00	1,18 $\pm$ 0,08
Сочи	UR1 (0-10)	47,7	2,64	57,6 $\pm$ 0,3	0,68 $\pm$ 0,05	4,9 $\pm$ 0,00	3,06 $\pm$ 0,12
	UR2q (10-20)	47,01	2,00	52,3 $\pm$ 1,5	1,2 $\pm$ 0,30	3,8 $\pm$ 0,00	2,41 $\pm$ 0,46
	UR3q (20-32)	50	1,87	43,7 $\pm$ 1,5	1,16 $\pm$ 0,13	3,8 $\pm$ 0,00	1,98 $\pm$ 0,35
	U4q (32-51)	50,4	1,55	40,3 $\pm$ 1,8	0,97 $\pm$ 0,03	3,8 $\pm$ 0,00	2,38 $\pm$ 0,28
	TCHQ (51-62)	50	0,19	45,2 $\pm$ 0,8	0,84 $\pm$ 0,06	4,3 $\pm$ 0,00	2,97 $\pm$ 0,43

Переход почвенных образцов в область вязкого течения, характеризующийся точкой Crossover, в урбостратоземе г. Сочи наблюдается при большей нагрузке, чем в остальных исследованных почвах. Профиль урбастратозема дифференцирован и по этому параметру с минимальным значением в средней части профиля. Такая же тенденция наблюдается в профильном распределении значений Crossover урбанозема г. Сыктывкар.

Заключение

Исследованные урбаноземы отличаются повышенным содержанием песчаных фракций, включая урбочернозем г. Краснодар, и характеризуются высокими значениями содержания общего углерода в верхних горизонтах.

Исследование реологических характеристик показало, что урбочернозем г. Краснодар способен сохранять свою микроструктурность при более высоких нагрузках по сравнению с остальными исследованными почвами.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования реологических параметров при оценке устойчивости почв к нагрузкам при эксплуатации почв в городских условиях.

Литература

1. Бахматова, К. А., Матинян, Н. Н., Шешукова, А. А. Антропогенные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение. 2021 No 1. С. 77-95.
2. Жукова Ю.А., Хайдапова Д.Д., Ковда И.В., Моргун Е.Г. Реологические характеристики слитоземных комплексов почв в разных климатических условиях // Почвоведение. 2015. No 3. 25.
3. Кузнецова И.В. Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопрочной структуры // Почвоведение. 1998. № 1.
4. Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Поздняков А.И., Тюгай З.Н., Початкова Т.Н., Черноморченко Н.И., Манучаров А.С. Практикум по физике твёрдой фазы почв: Учебное пособие. – М.: «Гриф и К», 2011. – 64с.
5. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И. Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной экскурсии конференции SUITMA-9 по Москве // Почвоведение. 2018. No 9. С. 1057-1070.
6. Прокофьева Т.В., Попутников В.О. Антропогенная трансформация почв парка Покровское - Стрешнево (Москва) и прилегающих жилых кварталов // Почвоведение. 2010. No 6. С. 748-758.
7. Умарова А.Б., Бутылкина М.А., Сусленкова М.М., Александрова М.С., Ежелев З.С., Хмелева М.В., Шхапацев А.К, Гасина А.И. Агрегатная структура естественных и пахотных почв разного генезиса: морфологические и реологические характеристики // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1019-1032.
8. Хайдапова Д.Д., Честнова В.В., Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при различном землепользовании // Почвоведение. 2016. No 8. С. 1–9.
9. Холопов Ю.В., Хайдапова Д.Д., Лаптева Е.М. Физико-механические свойства автоморфных таежных почв Республики Коми (по данным

реологических исследований) // Вестн. Томск. гос. ун-та. Сер. Биология. 2018. № 42.

10. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. No. 1.

11. Edwards, A.P. and Bremner, J.M., Microaggregates in soils, J. Soil Sci., 1967, no. 18.

12. Lehrs, G.A., Freeze-thaw cycles increase near-surface aggregate stability, Soil Sci., 1998, vol. 163, no. 1, pp. 63–70.

13. Rate, A. W. (Ed.) (2022). Urban soils. Principles and practice. Springer Nature.

14. Sillanpaa, M. and Webber, L.R., The effect of freezing- thawing and wetting-drying cycles on soil aggregation, Can. J. Soil Sci., 1961, no. 2, p. 41.

15. Six J., Elliott E.T., Paustian K. Soil macroaggregate turnover and micro-aggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture // Soil Biol. Biochem. 2000. 32.

Влияние предпосадочной обработки черенков смородины чёрной (*Ribes nigrum* L.) янтарной кислотой в условиях разреженной среды на их укоренение и развитие

Балашов Г.Р., Верховцева Н.В., Кубарев Е.Н.

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра
агрохимии и биохимии растений,*

г. Москва, george.balashov.00@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Урожайность и качество продукции ягодных культур зависит, в том числе, и от подготовки посадочного материала. В полной мере это относится и к черной смороде, одной из широко распространенной культуры в РФ.

Исследование новых способов обработки посадочного материала предоставляет возможность использования экологически безопасных технологий производства агропродукции.

Цель данной работы – изучение влияния и возможности применения обработки черенков черной смородины янтарной кислотой в разреженной среде на развитие посадочного материала и качество растительной продукции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются зеленые черенки черной смородины (*Ribes nigrum* L.) сорта Селеченская 2.

Для проведения вегетационного опыта применялись зеленые черенки, соответствующие ГОСТ 53135-2008 (ГОСТ 53135-2008). Подготовка посадочного материала проводилась по методике М.Т. Тарасенко (Тарасенко, 1967).

Для предпосевной обработки применялись растворы янтарной кислоты в концентрации 10^{-5} М, а также дистиллированная вода (контроль). Опыты проводились без применения и с применением вакуумной камеры.

В данном опыте использовалось разряжение $\sim 1,2 \pm 0,2$ атм. Время экспозиции в вакуумной камере выбиралось согласно исследованиям по применению акарицидных препаратов для черенков ягодных

культур в разреженной среде и составляло 15 минут, при атмосферном давлении – 24 часа. Таким образом, 80 подготовленных черенков были разделены на 4 варианта согласно проведенной обработке (таблица 1).

Таблица 1

№ варианта	Обработка кислотой/ контроль	Время экспозиции	Применение разреженной среды	Условное обозначение
1	Контроль	24 часа	Без применения	К
2	Контроль	15 мин	С применением	КВ
3	Янтарная 10-5	24 часа	Без применения	ЯК
4	Янтарная 10-5	15 мин	С применением	ЯКВ

На 24 сутки проводилась оценка укореняемости черенков по методике (Будаговский, 1959), согласно которой каждому черенку присваивался балл по градации от 1 до 5. Из дальнейшего опыта были исключены неукоренившиеся черенки (баллы 1 и 2).

Для укоренившихся черенков определялись характеристики корневой системы на основе методики (Тарасенко, 1967) и (Колесников, 1962), анализировались параметры длины и количества корней. На 56 сутки вегетации черенков определялись показатели количества и длины листьев по основной жилке, а также длины прироста основного побега.

Результаты морфометрических исследований были обработаны с помощью методов математической статистики в программе Statistica. Для определения статистической значимости факторов обработки черенков с применением и без применения вакуума, был использован двухфакторный дисперсионный анализ средних значений по повторностям. Анализировались: фактор влияния обработки янтарной кислотой, фактор применения вакуумной установки, совместное значение двух факторов. После получения результатов дисперсионного анализа и подтверждения значимости факторов, проводилась проверка различия средних значений по градациям фактора с помощью апостериорного критерия – НСР Фишера (Мешалкина, Самсонова, 2008).

После предпосадочной обработки черенки были высажены по 5 штук в полиэтиленовые пакеты (25×35 см) закрывающийся zip-локом, с предварительно подготовленным субстратом, помещая посадочный материал с наклоном примерно 15 - 30° С. В качестве субстрата для черенков использовали питательный торфогрунт, состоящий из смеси торфа и речного песка, а также доломитовой муки в качестве известкующего компонента. Субстрат был обогащен комплексным минеральным удобрением. Толщина слоя субстрата в

пакетах – 10 - 15 см. Характеристики субстрата, определенные стандартными методами приведены в таблице 2.

На 24 сутки был окончен период первоначального укоренения. Затем, после проведения морфометрических измерений, черенки с достаточно развитой корневой системой были перемещены в вегетационные сосуды (высота – 12 см, объем – 1,8 дм³), наполненные тем же субстратом для доращивания.

2. Характеристики субстрата

Характеристика субстрата pH	N(аммон.), мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Плотность тв. фазы, г/см ³
5,8±0,3	247 ±5	362 ±13	427 ±16	2,4

На 56 сутки были проведены измерения надземной части растений – листьев и приростов побегов растений, затем листовой материал был собран, измельчен в фарфоровой ступке и заморожен до количественного определения пигментов, а затем высушен в термостате для последующих лабораторных анализов: количественное определение хлорофилла а и b, каротиноидов проводили колориметрическим методом (Третьяков и др., 1990); определение растворимых углеводов проводили фотометрически с пикриновой кислотой (модификация Соловьева) (Практикум по агрохимии, 2001); количественное определение суммы флавоноидов в листьях – по методу Мечиковой, Загузовой, Степанова, (2005).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Более высокие значения процента укореняемости наблюдали у черенков в вариантах с применением разреженной среды (70 - 75%), что может быть объяснено активизацией ростовых процессов при более интенсивной обводненности тканей стебля, при поглощении жидкости заполняющей воздушное пространство черенка при такой обработке. Основываясь на результатах двухфакторного дисперсионного анализа, проведенного в программе Statistica, сделали вывод, что фактор наличия разреженной среды является значимым только для параметра количества корней, а значимость фактора янтарной кислоты проявился для таких параметров корневой системы, как длина и количество корней.

Вариант опыта с комбинированной обработкой имел максимальные абсолютные значения длины корней (табл. 3).

3. Результаты измерения показателей корневой системы

Вариант	Средняя длина корня (см)	Среднее количество корней
К	1,30±0,25	22,63±4,06
КВ	1,19±0,24	16,63±2,99
ЯК	1,86±0,34	41,75±9,23
ЯКВ	2,39±0,48	33,94±6,92
НСР _{0,05}	0,85	18,80

Значения для длины листа значительно различаются только по фактору наличия янтарной кислоты и совместному влиянию факторов, а значения для количества листьев только по фактору регулятора роста (табл. 4). Таким образом, развитие надземной части черенков коррелирует с развитием корневой системы и достигает лучших результатов во вариантах ЯК и ЯКВ.

4. Результаты измерения надземной части черенков

Вариант	Средняя длина прироста побега (см)	Средняя длина листа по основной жилке (см)	Среднее количество листьев
К	7,46±1,18	3,36±0,40	6,58±1,29
КВ	6,45±0,71	2,68±0,57	5,93±1,00
ЯК	11,10±0,87	3,58±0,76	7,08±1,45
ЯКВ	14,58±1,50	4,34±0,51	8,43±1,74
НСР _{0,05}	3,31	1,58	4,52

Для янтарной кислоты в проведенном опыте отношение длины прироста с контролем составляет – 1,49 без разреженной среды и 2,26 – с разреженной средой, что можно сопоставить с отношением длины прироста с использованием других биостимуляторов (Кошева, 2017).

Количество в листьях растения пигментов хлорофилла и каротиноидов является не только важным физиологическим показателем условий произрастания, но и значимой характеристиками качества растительного сырья. При низком содержании этих пигментов значительно снижаются ростовые показатели растений, нарушаются процессы переноса и синтеза основных энергетических и запасующих компонентов растительного организма.

Полученные результаты указывают на статистически достоверное увеличение содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов во вариантах с использованием янтарной кислоты. В то же время применение разреженной среды не оказало статистически достоверного влияния на черенки.

5. Результаты биохимических анализов черенков

Вариант	Хл <i>a</i> мг/л	Хл <i>b</i> мг/л	Каротиноиды мг/л	Сумма углеводов, %	Содержание флавоноидов, %
К	2,76 ±0,54	1,85 ±0,43	1,17 ±0,20	0,79±0,14	2,15±0,48
КВ	2,56±0,36	1,36±0,32	1,29±0,51	0,72±0,06	2,09±0,65
ЯК	3,97±0,07	2,28±0,12	1,68±0,31	1,04±0,31	2,32±0,49
ЯКВ	4,15±0,16	2,18±0,54	1,67±0,36	1,10±0,07	2,53±0,64
НСР0,05	0,74	0,44	0,32	0,16	0,33

Углеводы выполняют различные функции в организме растений, среди которых: энергетическая, структурная и запасаящая. Содержание углеводов в листьях напрямую влияет на их качество и товарную ценность (Новиков, 2012). Кроме того, углеводы напрямую влияют на вкусовые характеристики продукции ягодных кустарников.

По результатам можно судить о достоверном увеличении суммарного содержания сахаридов в вариантах с применением янтарной кислоты. Кроме того, в варианте с комбинированной обработкой количество моносахаридов оказалось максимальным.

Флавоноиды – это широкая группа химических соединений, производных флавана. Они подвергаются реакциям окисления и полимеризации и проявляют высокую Р-витаминную активность. Также к флавоноидам относятся пигменты антоцианы, которые не участвуют в фотосинтезе, но выполняют антиоксидантную функцию в растениях (Аджиахметова и др., 2021). Определение этого физиологического и качественного показателя листьев смородины не показало значимого отличия обработок от контрольного варианта на данный биохимический параметр.

ВЫВОДЫ

Обработка черенков черной смородины в водной разреженной среде способствует более высокой укореняемости посадочного материала и увеличению количества корней.

Обработка янтарной кислотой увеличивала как длину, так и количество корней у черенков смородины

Лучшие показатели развития надземной вегетативной части, такие как длина прироста, длина и количество листьев были показаны при комбинированной обработке – янтарной кислотой в разреженной среде.

Обработка янтарной кислотой приводит к увеличению содержания в листьях смородины черной светособирающих пигментов (хлорофилла и каротиноидов) и углеводов. Значения для стандартной обработки и обработки в разреженной среде достоверно не отличались.

Предложенные варианты обработки не оказывают значимого влияния на содержание флавоноидов в листьях.

Литература

1. Аджихметова С.Л., Червонная Н.М., Поздняков Д.И., Оганесян Э.Т., 2021. Изучение суммарного содержания антиоксидантов, полисахаридов, элементного состава и аминокислот растительного сырья смородины черной // Химия растительного сырья. № 3. С. 265–274.
2. Будаговский В.И., 1959. Карликовые подвои для яблони. М.: Сельхозгиз. 352 с.
3. ГОСТ 53135-2008. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Дата введения 1 января 2010 года.
4. Колесников В.А., 1962. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения. М.: Сельхозиздат. 191 с.
5. Кошева О.Н., 2017. Применение регуляторов роста при зеленом черенковании селекционных сортообразцов смородины черной // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. Т. 47. № 2. С. 23–27.
6. Мечикова Г.Я., Загузова Е.В., Степанова Т.А., 2005. Определение суммы флавоноидов в листьях земляники восточной // Дальневосточный медицинский журнал. № 2. С. 78–81.
7. Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П., 2008. Математическая статистика в почвоведении: Практикум. М.: МАКС Пресс. 84 с.
8. Новиков Н.Н., 2012. Биохимия растений. М.: Колос. 679 с.
9. Практикум по агрохимии: Учебное пособие/ Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
10. Практикум по физиологии растений/ Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. и др. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
11. Тарасенко М.Т., 1967. Размножение растений зелеными черенками. М.: Колос. 250 с.

Воздействие фолиарной обработки мяты перечной (*Mentha piperita* L.) лигногуматом и лигносульфонатом на биомассу листьев и на содержание в них макро- и микроэлементов

Валешная Д.В., Пашкевич Е.Б.

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

119991, Москва, ул. Ленинские горы, 1

E-mail: daria22121995@gmail.com

Актуальность

Исследования физиологических и биохимических характеристик и технологий выращивания лекарственных трав все еще находятся на начальной стадии. Отсутствуют глубокие исследования особенностей роста и развития различных лекарственных культур, а регулирование роста, формирование качества и урожайности, а также разработка мер контроля роста имеют слабую теоретическую основу. В частности, фермеры в традиционных районах производства в основном полагаются на традиционный опыт посадки, а меры контроля производства не имеют научного обоснования [1]. Производство лекарственных трав имеет высокую специфику в зависимости от географического положения, а определенная экологическая среда является одним из необходимых условий для производства высококачественного лекарственного растительного сырья. При создании основ надлежащей агротехники необходимо учитывать местные условия, выбирать соответствующие места, подбирать подходящую почву и географическую среду на основе экологических и биологических характеристик каждого вида трав [2]. Также влияние удобрений на лекарственные растения заслуживает внимания. Так как в фармацевтическом направлении качество растительного сырья строго регламентируется, при этом питание таких растений обходят стороной. Особое место в изучении трав занимают нетрадиционные удобрения. К таким удобрениям относят лигносульфонат и лигногумат, действие которых исследовалось в данной работе. Лигносульфонат представляет собой отход целлюлозно-бумажной промышленности, из которого, в свою очередь, получают лигногумат. Последнее вещество позиционируется на рынке как удобрение и содержит ряд макро- и микроэлементов.

Кроме того, гуминосодержащие препараты могут проявлять свойства стимулятора роста растений [3, 4]. Поэтому в данном исследовании была цель выявить влияние лигносульфоната и лигногумата на содержание макро- и микроэлементов в листьях мяты.

Объекты и методы

Исследование проводили в 2022 году на несортовой мяте перечной (*Mentha piperita* L.) 1-го года вегетации с внесением минеральных удобрений и фолиарной обработкой гуминосодержащими препаратами – лигносульфонатом (производство Соликамск, Пермский край) и лигногуматом марки АМ (производство Санкт-Петербург). Растения выращивали на смесовом грунте, в состав которого входили торф, песок, суглинок, плодородный грунт в процентном соотношении 20:10:10:60. Содержание питательных элементов в грунте: нитратный азот – 15,7 мг/кг; аммоний обменный – 46,0 мг/кг; подвижный фосфор – 542 мг/кг; обменный калий – 300 мг/кг; подвижный цинк (вытяжка ААБ) – 37,3 мг/кг; подвижная медь (вытяжка ААБ) – 10,7 мг/кг. Перед проведением опыта рНКСl грунта был равен 7,44 (слабощелочная реакция).

В качестве минеральных удобрений вносили: аммиачную селитру (60 кг/га д.в.), суперфосфат (60 кг/га д.в.), сульфат калия (120 кг/га д.в.), хелаты меди и цинка (21,4 и 9,4 кг/га д.в., соответственно). Лигногумат и лигносульфонат использовали в виде водных растворов в двух дозах – 0,01% и 0,05%. Обработка была двукратной с интервалом в 10 дней. Элементный состав лигногумата, мг/кг: бор – 908,4; железо – 59,8; калий – 89634,0; кальций – 1765,7; медь – 710,3; фосфор – 451,2; цинк – 678,4. Элементный состав лигносульфоната, мг/кг: бор – 3,6; железо – 35,8; калий – 2134,9; кальций – 2277,6; медь – 2,02; фосфор – 64,8; цинк – 20,0.

Схема опыта:

1. контроль;
2. NPK + ZnCu
3. NPK + ZnCu + Лг 0,01%;
4. NPK + ZnCu + Лг 0,05%;
5. NPK + ZnCu + Лгсф 0,01%;
6. NPK + ZnCu + Лгсф 0,05%,

где сокращениями обозначены Лг – лигногумат; Лгсф – лигносульфонат, N – азотные удобрения, P – фосфорные удобрения, K – калийные удобрения, Zn и Cu – хелаты меди и цинка. Далее в тексте будет использоваться выше обозначенная нумерация для вариантов.

Для определения в растениях азота, фосфора, калия, навески растительного материала озоляли в концентрированной серной кислоте (метод мокрого озоления по Гинсбургу). Азот в растениях определяли методом Кьельдаля, содержание фосфора – фотометрически с окрашиванием по Дениже, содержание калия – на пламенном фотометре. Массу листьев определяли весовым методом, содержание элементов в лигногумате и лигносульфонате – на ИСР. Анализы грунтов делали общепринятыми методами: подвижные формы фосфора в вытяжке Кирсанова фотометрически с окрашиванием по Дениже, из той же вытяжки для фосфора – калий на пламенном фотометре, содержание нитратного азота по Грандваль-Ляжу, содержание аммонийного азота из вытяжки 0,05 н. NaCl [5], содержание цинка и меди – на ИСР. Многофакторный дисперсионный анализ (ДА) был сделан с помощью программы Statistica.

Обсуждение результатов

Данные исследования по содержанию азота, фосфора, калия, цинка и меди в листьях растений представлены в таблице 1. Для описания статистических результатов далее в тексте будет использоваться показатель вероятность превышения p из программы Statistica.

1. Содержание питательных элементов в растениях

Варианты опыта	Макроэлементы, %			Микроэлементы, мг/кг	
	Азот	Фосфор	Калий	Цинк	Медь
1	2,93	0,68	1,48	26,75	14,47
2	2,96	0,71	1,69	18,89	8,89
3	2,87	0,75	1,73	44,35	15,08
4	2,84	0,73	1,56	45,25	12,14
5	2,68	0,81	1,63	36,20	11,04
6	3,14	0,69	1,65	17,98	11,24

Результаты статистической обработки не одинаковы для исследуемых факторов.

Расчеты наименьшей существенной разницы (НСР) не показали никаких различий по содержанию калия и содержанию меди. Также можно заметить, что содержание фосфора 542 мг/кг относится к высокообеспеченному уровню, и мы должны были обнаружить такой же эффект, как для калия и меди. Действительно, в сводной таблице показано, что вероятность превышения p для факторов удобрения и фолиарной обработки равна 0,557 и 0,125 соответственно (значения больше величины 0,05). Отсутствие значимой разницы между

вариантами свидетельствует о достаточном уровне обеспеченности элементами питания для фосфора, калия и меди. Однако при дополнительной проверке отличия средних по градациям факторов по содержанию фосфора обнаружено значимое различие между вариантом 1 (контроль) и вариантом 5.

Хотя содержание азота в грунте было достаточно низким, согласно сводной таблице на содержание азота в листьях оказала влияние фоллиарная обработка ($p = 0,009$), а фактор азотных удобрений нет ($p=0,710$). Относительно этого можно сделать вывод, что лигногумат и лигносульфонат оказывают влияние на регуляцию поглощения азота из почвы для растений. В расчетах НСР контроль значимо отличается от вариантов 5 и 6 ($p = 0,017$ и $p = 0,035$ соответственно). Также вероятность превышения меньше уровня значимости 0,05 у вариант 6 с вариантами 3,4,5 и у варианта 5 с вариантами 2 и 3. Стоит напомнить, что варианты 5 и 6 – это варианты с обработкой лигносульфонатом с концентрациями 0,01% и 0,05% соответственно. Несмотря на то, что эти варианты относятся к одному и тому же веществу, эффект обработки не одинаков: для концентрации 0,01% содержание азота в листьях минимально между всеми вариантами, а для концентрации 0,05% наоборот – содержание азота максимально.

Ещё больше различий было выявлено для показателя содержание цинка в листьях. Оба фактора «удобрения» и «фоллиарная обработка» повлияли на этот элемент ($p= 0,014$ и $p=0,000$ соответственно по сводной таблице). Все варианты имели значимые отличия с контролем. Лишь между двумя парами вариантов не было выявлено значимой разницы: между вариантом 2 и вариантом 4 ($p = 0,706$), вариантом 3 и вариантом 4 ($p = 0,707$).

Для полного представления о содержании основных питательных элементов в листьях стоит обратить внимание на надземную сырую биомассу растений (рис. 1.).

Как было упомянуто выше, лигногумат и лигносульфонат имеют свойства стимулирующих веществ. На фоне удобрений мы можем видеть значимый эффект на физиологические показатели растений, которым является масса листьев. Разница между контролем и вариантами с обработками лигногуматом или лигносульфонатом составляет ≈ 200 %. Наибольшая масса листьев отмечена на варианты с лигносульфонатом.

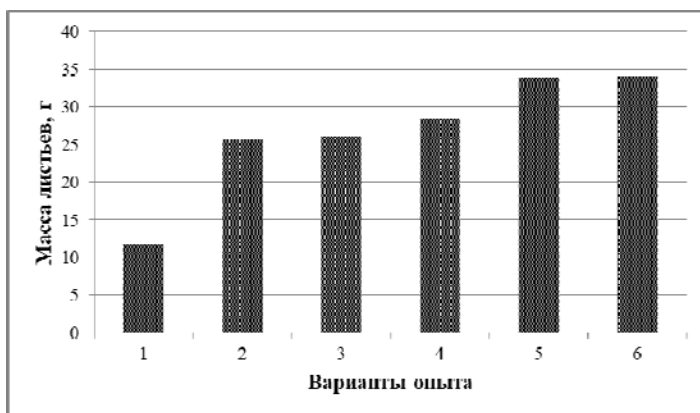


Рисунок 1. Сырая масса листьев мяты перечной, г. Ошибка опыта составила 5%.

Заключение

Наибольший эффект фолиарная обработка лигногуматом и лигносульфонатом оказала на содержание азота и цинка в листьях мяты перечной. На содержание фосфора, калия и меди не оказали влияние ни внесение удобрений, ни фолиарная обработка гуминовыми веществами. Обработка лигносульфонатом 0,01% повлияла на содержание фосфора в растении. Также варианты с лигносульфонатом имеют большую биомассу листьев среди рассмотренных вариантов.

Работа выполнена в рамках темы НИР

«Разработка и оценка комплекса инновационных агрохимических средств, мелиорантов и регуляторов роста в условиях агро-техногенеза и городской среды» (ЦИТИС:121041300098-7).

Литература

1. Zhang B. et al. GAP production of TCM herbs in China //Planta medica. – 2010. – Т. 76. – №. 17. – С. 1948-1955.
2. Zhu L X. The relationship research of the Chinese medicine herbs implement GAP cultivation and the superior medicine herbs. Lishizhen Med Mater Med Res. 2006; 17 F0003-F0004
3. Кшникаткин С. А. и др. Экологически безопасная технология возделывания расторопши пятнистой //Нива Поволжья. – 2021. – №. 3 (60). – С. 60-66.
4. Conselvan GB, Pizzeghello D, Francioso O, Di Foggia M, Nardi S, Carletti P (2017) Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites. Plant Soil 420:119–134
5. Минеев В.Г., и др. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие/Под ред. Академика РАСХИ ВГ Минеева.-2-е изд., перераб. и доп //М: Изд-во МГУ, 2001.-689 с. – 2001.

Характеристика микробного сообщества чернозема, загрязненного нефтью при применении минеральных удобрений

Власова А.П., Павлов К.В., Степанов А.Л., Манучарова Н.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. Изучена структура прокариотного сообщества чернозема на протяжении 12 месяцев после внесения нефти и минеральных удобрений. Результаты показали, что состав и распределение бактерий существенно меняются со временем.

Доминирующие филогенетические группы изменяются с *Actinobacteria* и *Alphaproteobacteria* на *Alphaproteobacteria* и *Gammaproteobacteria*. Внесение солей не оказывает влияния на состав доминантов, но влияет на их соотношение и количество, усиливая эффект от внесенной нефти. Эти результаты имеют важное значение для понимания процессов сукцессии и восстановления загрязненных экосистем.

ВВЕДЕНИЕ

Нефтезагрязнение почвы является серьезной проблемой, которая влияет на биологическую активность и экосистемные функции почвенных сообществ. Разливы нефти приводят к изменению физико-химических свойств почвы и снижению ее плодородия. [1] Изучение воздействия различных добавок на структуру и функционирование прокариотного сообщества в нефтезагрязненных почвах имеет важное значение для разработки методов реабилитации и восстановления таких почв.

Одним из потенциальных подходов к реабилитации нефтезагрязненных почв является использование минеральных солей, таких как нитрат и хлорид калия [2]. Изменение структуры прокариотного сообщества в нефтезагрязненных почвах при внесении нитрата и хлорида калия имеет важное значение, поскольку прокариоты играют ключевую роль в почвенных экосистемах. Они выполняют функции разложения органических веществ, циклизации питательных веществ и восстановления экосистем после загрязнения. Изменение структуры прокариотного сообщества может указывать на изменения в функциональном состоянии почвы, а также на эффективность использования солей для реабилитации нефтезагрязненных почв.

Таким образом, целью данной научной статьи является исследование влияния внесения нитрата и хлорида калия на структуру прокариотного сообщества в нефтезагрязненном черноземе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили образцы горизонта (А) чернозёма типичного среднесуглинистого среднесуглинистого на лёссовидных суглинках (51°1'41" N, 40°43'31" E, лесополоса № 40 в государственном природном заказнике “Каменная степь” в Воронежской области) [2]. Модельный лабораторный эксперимент по внесению нефти и минеральных солей проводили в сосудах объемом 500 мл (82 мм*108 мм*70 мм), вмещающих 100 г почвы. Почвенные образцы увлажняли водой, доводя давление почвенной влаги до –3,4 кПа (оптимальные значения влажности для развития большинства микроорганизмов), и поддерживали ее в течение всего эксперимента. Нефть добавляли в количестве, превышающем показатели сильно-загрязненных почв (5% от массы почвы). KNO₃ и KCl вносили в почву равномерно в форме растворов, концентрации анионов выравнивали в мольном отношении 2 ммоль анионов NO₃⁻ и Cl⁻ на 100 г почвы (табл. 2).

Эксперимент проводили в течение 12 мес. В почву вносили нефть Азово-Кубанского нефтегазоносного бассейна (месторождение “Кубанская площадь”, скважина С-1, глубина отбора 2800–2832 м, возраст N12, плотность нефти 0,835 г/см³ при 15°C, цетановое число 51, иодное число 0,4, вязкость условная 1,5 и кинематическая при 20°C – 4,9 мм²/с).

Для анализа разнообразия прокариотного комплекса исследуемых образцов почв применяли метод высокопроизводительного секвенирования консервативного участка гена 16S рРНК. Для экстракции тотальной ДНК применяли стандартные методы Power Soil DNA Isolation Kit (MO BIO, США), руководствуясь инструкциями производителя. Амплификацию фрагментов гена 16S рРНК осуществляли с помощью вырожденных праймеров, комплементарных последовательностям как бактерий, так и архей: PRK341F (CCTACG-GGRBGCASCAG) и PRK806R (GGACTACYVGGGTATCTAAT). Полученные ПЦР-фрагменты очищали на колонках QIAquick согласно протоколу производителя. Каждый ПЦР-фрагмент растворяли в 50 мкл ТЕ-буфера, полученного материала было достаточно для дальнейшего анализа. Нуклеотидные последовательности переменных фрагментов генов 16S рибосомальных РНК из образцов метабеномной ДНК определяли с помощью высокопроизводительного секвенирования.

Секвенирование проводили на полигеномном секвенаторе Illumina Miseq, время прочтения 39 ч, количество pair-endreads (парных прочтений) 8 млн. После проведенных прочтений с обоих концов ДНК формировали файл с прямыми и обратными прочтениями, которые представляли собой текстовое описание первичной структуры линейных макромолекул в виде последовательности мономеров. Обработку данных секвенирования проводили с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 1.9.1, включающего объединение прямых и обратных прочтений. Удаление технических последовательностей, фильтрацию последовательностей с низкими показателями достоверности прочтения отдельных нуклеотидов (качество <Q20), фильтрацию химерных последовательностей, выравнивание прочтений на референсную последовательность 16S рПНК, распределение последовательностей по таксономическим единицам проводили с использованием базы данных Silva версии 132. Использовали алгоритм классификации операционных таксономических единиц (ОТЕ) с открытым референсом (Open-reference OTU), порог классификации 97% [13].

Данные по филогенетическому разнообразию полученные при помощи секвенирования были проанализированы программой iVidocac. Модуль п iVidocac Local Mapper позволяет вычислить относительное количество ферментов, составляющих конкретный интересующий путь (за единицу более образцов окружающей среды). Для сравнения содержания ферментов (определенного пути) между двумя или более средах, Local Mapper нормализует вычисленную численность и обеспечивает эту информация в форме «файла сопоставления пользовательских данных» [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами была проведена исследовательская работа, в которой описывается структура прокариотного сообщества в черноземе через шесть месяцев после внесения нефти и минеральных удобрений [3]. В предыдущем исследовании было установлено, что через шесть месяцев наблюдается формирование специфического комплекса бактерий в загрязненном нефтью черноземе, где преобладают представители *Actinobacteria* и *Alphaproteobacteria*.

В настоящей работе мы представляем новые данные о динамике сукцессии в течение 12 месяцев, которые показывают значительные изменения в структуре прокариотного сообщества по сравнению с шестимесечным периодом. На двенадцатом месяце доля *Actinobacteria* значительно сокращается, и большую часть прокариотного комплекса

занимают *Alphaproteobacteria* и *Gammaproteobacteria*. На более низких таксономических уровнях также наблюдаются изменения: если на шестом месяце доминирующую роль играл отряд *Rhizobium*, то на двенадцатом месяце его место занимает отряд *Chromatiales*. Среди *Alphaproteobacteria* мы выделяем доминирующий род *Sphingomonas*. [рис. 1]

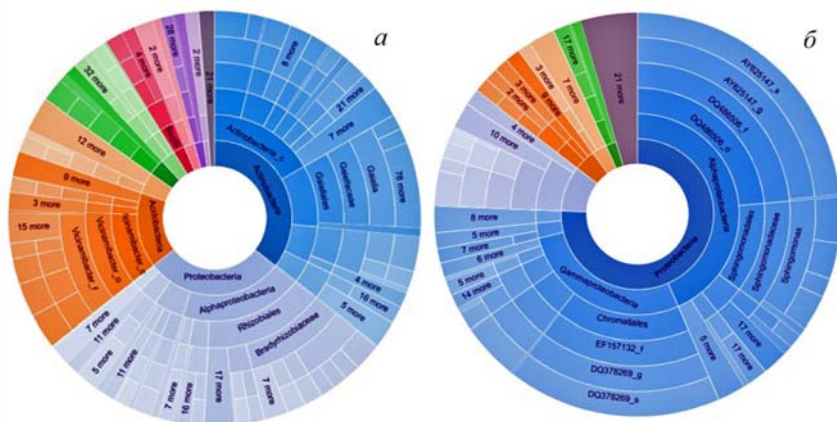


Рис. 1. Филогенетическая структура бактериального комплекса исследуемых образцов чернозема с внесением нефти: а – на шестой месяц сукцессии, б – на двенадцатый месяц сукцессии

Внесение солей не оказывает влияния на состав доминантов, но влияет на их соотношение и количество, усиливая эффект от внесенной нефти. Особенно ярко это влияние проявляется в снижении альфа-разнообразия. Внесение нефти приводит к уменьшению альфа-разнообразия по сравнению с контрольной группой, а внесение хлорида калия и нитрата калия усиливает этот эффект [рис. 2].

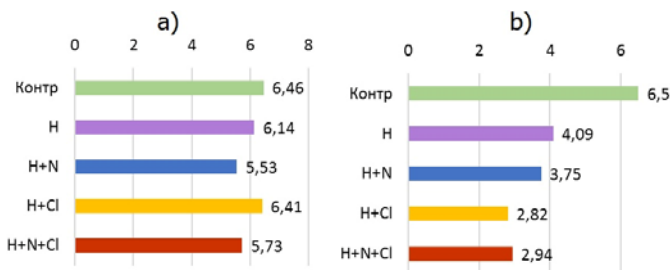


Рис. 2. Альфа-разнообразие исследуемых образцов чернозема с внесением нефти: а – на шестой месяц сукцессии, б – на двенадцатый месяц сукцессии

С помощью модуля Local Mapper программы iVidocas мы проанализировали, какие роды бактерий могут участвовать в основных метаболических путях. На шестом месяце доминирующими родами были *Rhodococcus*, *Micobacterium*, *Bradyrhizobium* и *Sphingomonas*, а на двенадцатом месяце основными доминантами стали роды *Rhodococcus* и *Micobacterium* [рис. 3, 4].

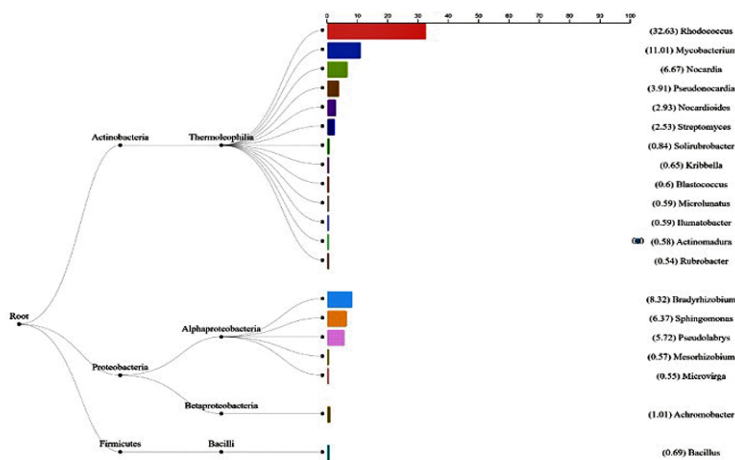


Рис. 3. Дендрограмма участников метаболического пути “Дегградация жирных кислот” по результатам модуля Local Mapper iVidocas образца чернозема с внесением нефти на шестой месяц сукцессии

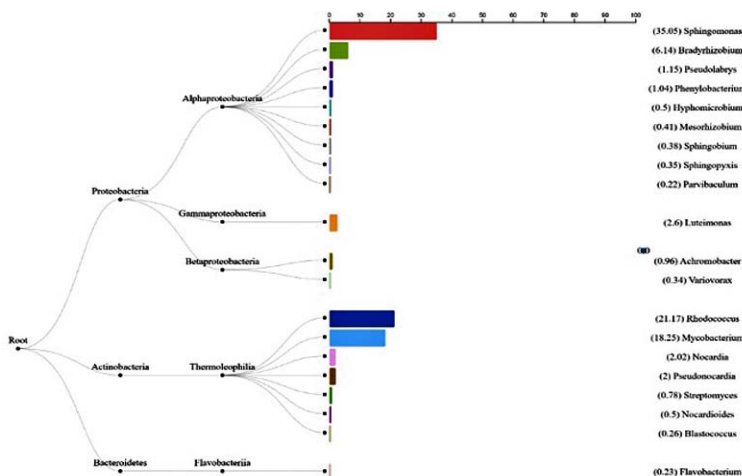


Рис. 4. Дендрограмма участников метаболического пути “Дегградация жирных кислот” по результатам модуля Local Mapper iVidocas образца чернозема с внесением нефти на двенадцатый месяц сукцессии

Данное исследование подтверждает, что с течением времени происходят значительные изменения в структуре прокариотного сообщества чернозема, загрязненного нефтью, и что внесение минеральных удобрений может усилить эти изменения. Эти результаты важны для понимания процессов сукцессии и восстановления экосистем после нефтяных загрязнений.

Литература

1. Байчоров Р.А. Действие нефти и нефтепродуктов на свойства почв и продуктивность растений // E-Scio. 2020. №2 (41). С. 143-148.
2. Власова А.П., Павлов К.В., Морачевская Е.В., Липатов Д. Н, Поздняков Л.А., Манучарова Н.А. Изменение структуры прокариотного сообщества нефтезагрязненного чернозёма при внесении нитрата и хлорида калия. // Почвоведение. 2023. № 7. С. 853–863.
3. Nagpal, Sunil & Haque, Mohammed & Mande, Sharmila. Vikodak – A Modular Framework for Inferring Functional Potential of Microbial Communities from 16S Metagenomic Datasets. //PloSone. 2016. №11.
doi.org/10.1371/journal.pone.0148347
4. Manucharova N.A., Ksenofontova N.A., Karimov T.D., Vlasova A.P., Zenova G.M., Stepanov A.L. Changes in the phylogenetic structure of the metabolically active prokaryotic soil complex induced by oil pollution // Microbiology. 2020. T. 89. № 2. С. 219-230. doi.org/10.31857/S0026365620020093.

Изменение показателей плодородия агросерой почвы неорошаемого яблоневого сада при систематическом внесении удобрений

Галашев М.И.

*ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина, г. Орёл, Россия;*

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловский м/о,
Орловская область, Россия*

E-mail: galashev55@mail.ru

Почва – один из наиболее важных компонентов агроэкосистемы плодового сада. Она является главным источником элементов минерального питания для плодовых деревьев. Плодовые культуры произрастают на одном участке в течение длительного периода, поэтому воздействие древесных корней и многократно повторяющиеся агротехнические мероприятия способствуют постепенному изменению свойств почвы под садом [1, 2]. В интенсивных садах, где такое воздействие наиболее выражено, плодородие почвы может со временем ухудшаться, в том числе – из-за применения высоких доз минеральных удобрений [3]. Поэтому современная система минерального питания плодовых растений направлена на снижение их количества. Для агроэкосистем с разнообразными полевыми культурами показано изменение агрохимических, физико-химических и других свойств почв при длительном применении минеральных и органических удобрений [4]. Динамика почвенных характеристик под многолетними насаждениями изучена гораздо слабее. Проведённые на настоящий момент исследования не охватывают всё существующее разнообразие плодовых культур и способов их выращивания. Знание процессов, происходящих в почве, с учетом специфики произрастания плодовых культур, позволит избежать избытка удобрений и сохранить плодородие почвы. Поэтому изучение агрогенных изменений, происходящих в корнеобитаемом слое при эксплуатации многолетних насаждений, является актуальным.

Целью настоящего исследования была оценка изменения ключевых агрохимических параметров агросерой почвы яблоневого сада после 6 лет ежегодного внесения возрастающих доз азотных и калийных удобрений.

При проведении исследования были использованы пробы почвы, отобранные в среднерослом неорошаемом саду яблони, посаженном в 2013 г., имеющем плотность посадки 555 деревьев на 1 га. Смешанные образцы почвы отбирали с глубин 0-20, 20-40 и 40-60 см в рядах деревьев на расстоянии 1,5 м от штамба. Отбор проб произведён на делянках полевого опыта, изучающего эффективность азотных и калийных удобрений, начатого в 2015 г. Схема опыта предусматривает внесение в почву азотных (аммиачная селитра) и калийных (хлористый калий) удобрений в следующих дозах: N30K40, N60K80, N90K120. Удобрения вносят ежегодно весной (в середине апреля) на глубину 10-15 см. Опыт проводится в четырёхкратной повторности, на каждой учётной делянке расположено 5 деревьев. Для выполнения целей данного исследования были проанализированы образцы, отобранные осенью 2016 г. (после 1 года применения удобрений), и осенью 2021 г. (после 6 лет применения удобрений). Агрохимические показатели определялись по стандартным методикам.

Результаты оценки произошедших изменений, представлены на рисунке 1. В первый год применения удобрений (2016) существенных различий по показателям pH_{KCl} и гидролитической (общей) кислотности не наблюдалось.

После 6 лет применения удобрений ситуация существенно поменялась – в слое 0...20 см на всех вариантах с использованием удобрений показатель pH_{KCl} стал существенно ниже, чем на контроле. В слоях 20...40 см и 40...60 см тенденция к снижению pH солевой вытяжки сохранилась, но эффект был выражен несколько слабее на уровне тенденции.

В течение 6 лет внесения калийных удобрений в почву сада, изначально имевшей низкие запасы обменного калия, происходило постепенное насыщение почвенно-поглощающего комплекса этим элементом. Высокий уровень обеспеченности обменным калием (более 200 мг/кг, согласно градации для плодовых деревьев) был достигнут в варианте с внесением N90K120 на 6-й год применения удобрений (рис. 1).

Содержание подвижных форм фосфора в слое почвы 0...60 см в течение всего периода исследований находилось на высоком уровне (более 100 мг/кг). К 2021 г. во всех вариантах опыта уровень подвижного фосфора снизился на 18-22% (рис. 1). Несмотря на произошедшее подкисление почвы, внесение удобрений не оказало статистически значимого влияния на её фосфорный статус.

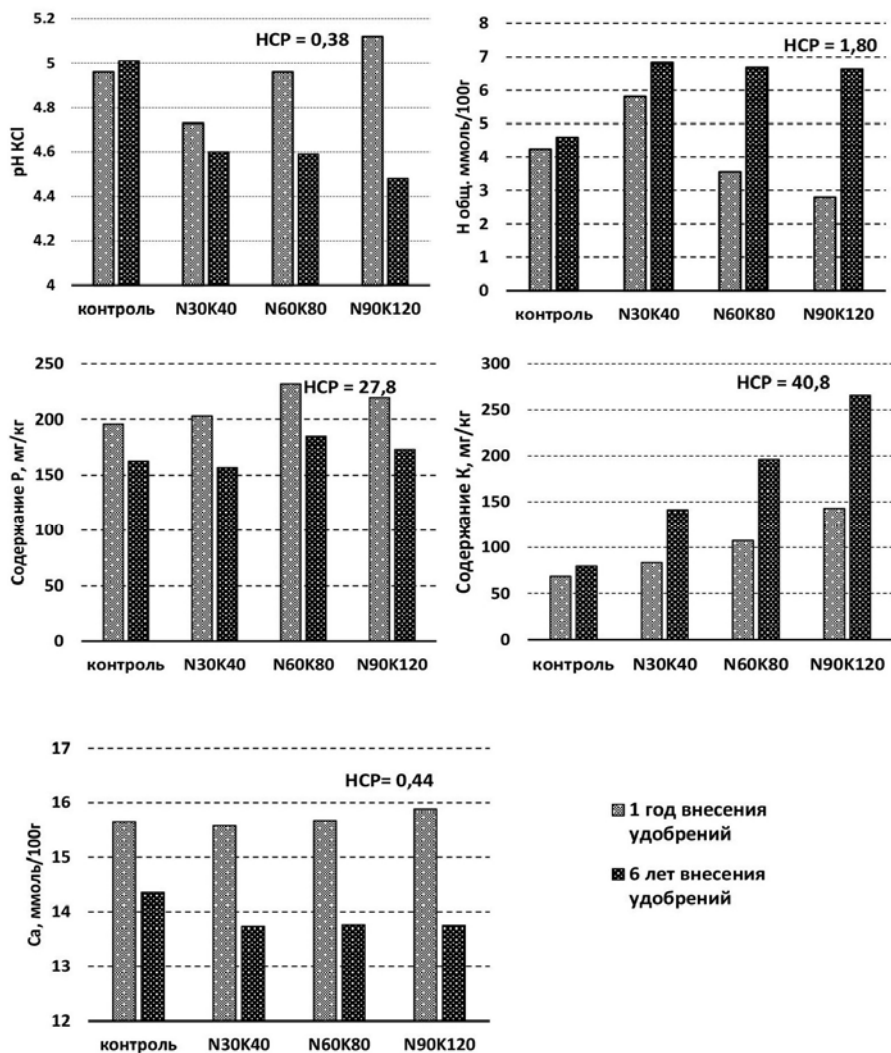


Рисунок 1. Тренды изменения основных агрохимических параметров агросерой почвы яблоневого сада (слой 0-20 см) при ежегодном систематическом внесении NH_4NO_3 и KCl

В изучаемой почве содержание обменного кальция в течение 6 лет исследования находилось между повышенным и высоким уровнем, но при этом с увеличением возраста сада наблюдалось статистически значимое уменьшение показателя во всех вариантах опыта. На контроле эти изменения происходили менее интенсивно, чем при внесении удобрений. К концу периода вегетации 2021 г. уровень

обменного кальция снизился на 7...14% в зависимости от варианта опыта. При внесении удобрений в дозах N60K80 и N90K120 статистически значимое снижение показателя наблюдалось не только в верхнем слое почвы, но и на глубине 20-40 см.

В 2021 г. после 6 лет проведения полевого опыта произведена оценка запасов легкогидролизуемых соединений азота в почве опытных делянок, а также определено содержание гумуса (рис. 2).

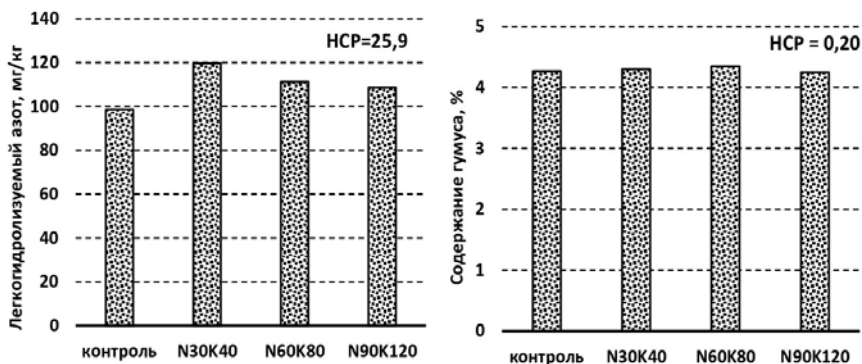


Рисунок 2. Содержание легкогидролизуемого азота и гумуса в агросерой почве яблоневого сада после 6 лет применения удобрений, 2021 г.

Применение в течение 6 лет возрастающих доз азотных удобрений не повлияло на уровень легкогидролизуемого азота, его содержание осталось таким же низким, каким было при посадке сада (рис. 2). Также в изучаемом среднерослом неорошаемом яблоневом саду после 6 лет применения удобрений не выявлено статистически значимого ухудшения гумусного состояния агросерой почвы.

Проведённые исследования показали, что при ежегодном внесении в агросерую почву яблоневого сада аммиачной селитры и хлористого калия происходило увеличение кислотности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы, а также имели место потери обменного кальция и подвижного фосфора в 60-сантиметровом слое почвенного профиля, что свидетельствует о начале процессов деградации. Однако, на момент проведения исследований этот эффект не привёл к дефициту минерального питания растений. Положительным эффектом от применения удобрений было достоверное увеличение запасов обменного калия, при этом почва сохранила высокий уровень гумусированности, а запасы легкогидролизуемых соединений азота оставались низкими на протяжении всего периода проведения эксперимента.

Литература

1. Трунов, Ю.В. Биологические основы минерального питания яблони. Минеральное питание и удобрение яблони. - Воронеж: Кварта, 2013. - 428 с.
2. Сергеева Н.Н., Савин И.Ю., Трунов Ю.В., Драгавцева И.А. и др. Многолетняя динамика агрохимических свойств чернозёмов под яблоневыми садами // Бюллетень Почвенного института имени В.В.Докучаева. 2018. № 93.
3. Захаров В.Л. Изменение свойств и снижение бонитета почв разных типов в яблоневых садах Тамбовской области // Вестник Красгау. 2010. № 10. С. 30-36.
4. Бурдуковский М. Л., Голов В. И., Ковшик И. Г. Изменение агрохимических свойств основных пахотных почв юга Дальнего Востока при длительном сельскохозяйственном использовании //Почвоведение. 2016. №. 10. С. 1244-1250.

Влияние извести на потенциальное и микробное дыхание дерново-подзолистой почвы с разным уровнем кислотности

Глухов К.Л., Егоров В.С., Поздняков Л.А.

*Московский государственный университет,
г. Москва, evs_msu@mail.ru,*

Введение

Сельскохозяйственное производство, так же как и промышленность вносит свой вклад в повышение концентрации парниковых газов в атмосфере. Вид землепользования и его изменение может как увеличивать эмиссию CO_2 в атмосферу, так и дополнительно абсорбировать из нее углерод (секвестирование) и переводить его в почвенный гумус и в лесную древесину с длительными временами пребывания углерода в названных пулах [1].

В настоящее время в исследованиях уделяют значительное внимание экологическим функциям почвы. Так известно, что почва является главным депо CO_2 в биосфере, он активно поступает в атмосферу при разложении органического вещества почвы. В первую очередь на это влияет микробиологическая активность, в результате ферментативного окисления органических соединений. Также помимо микроорганизмов выделяют CO_2 и почвенная биота, и корни растений в процессе дыхания [2].

Известкование как мелиоративный прием общеизвестен. Известь не только повышает эффективность использования удобрения, но и способствует устранению избыточной кислотности, что приводит к стабилизации почвенного плодородия и улучшению качества сельскохозяйственной продукции [3]. Также известкование может оказать положительное действие на состав гумуса [4].

Однако известь способствует выделению CO_2 , так как в своем составе она содержит карбонаты. Их влияние достаточно трудно отделить от других источников углекислого газа в почве [5]. Таким образом, возникает закономерный вопрос: при разложении извести количество выделившегося CO_2 будет больше, или при изменении условий в почве он будет лучше депонироваться, что нивелирует его выбросы? Данная проблема требует дальнейшего изучения.

Целью данной работы является оценка действия извести на микробиологическую активность и эмиссию CO_2 дерново-подзолистой почвы с разным уровнем кислотности.

Объекты и методы

Объектом нашего исследования является дерново-подзолистая супесчаная почва на моренном суглинке (по КиДП СССР), на которой были сформированы варианты (делянки) с разным уровнем кислотности в процессе изучения эффективности минеральных удобрений в период с 2000 по 2006 год на базе Всероссийского НИИ органических удобрений и торфа. С 2007 по 2018 год участок использовался в качестве косимой залежи, занятой многолетними травами. В 2018 году был произведен подсев многолетнего люпина и с 2019 по 2023 г. участок используется для выращивания многолетнего люпина на семена. Площадь деланки опыта 60 м^2 .

Основной отбор образцов происходил с деланок «контроль», и в результате были отобраны средние образцы почвы с разным значением pH. Для проведения опыта использовалась сыромолотая доломитовая мука класса А Судогодского карьера Владимирской области. Содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ в сыромолотой доломитовой муке марки А составляет не менее 80 % (ГОСТ 14050-93).

При определении агрохимических показателей почвы использовали следующие методы: актуальная кислотность в водной вытяжке, гидролитическая кислотность по Каппену, подвижные формы калия в вытяжке по Кирсанову, pH и обменная кислотность по Соколову, содержание ионов Al в вытяжке 1 н. KCl методом атомно-абсорбционной спектрометрии, сумма поглощенных оснований по Каппену-Гильковицу [6].

Инкубационный эксперимент, для изучения эмиссии CO_2 проводили по следующей схеме опыта:

- pH нейтральная
- pH кислая
- pH слабокислая
- РН нейтральная + известь
- РН кислая+ известь
- РН слабокислая + известь

Почву предварительно очистили от корешков, и взяли навески в общем количестве для инкубационного опыта.

За неделю до проведения инкубационного опыта навески почвы с разной кислотностью перенесли в 6 сосудов и увлажнили до 60% ПВ. Каждый день проветривали сосуды в течении 5 минут в течение

10 дней, таким образом произвели «оживление» микробного сообщества почвы и вывели его из состояния покоя. Непосредственно перед началом эксперимента была внесена известь из расчета по одной гидролитической кислотности согласно схеме опыта.

После этого активно перемешали навески в сосудах – как в вариантах с внесением извести, так и без нее. Затем во флаконы объемом 15 мл в количестве 144 шт. были взяты навески по 5 г., на каждый отдельный вариант отводилось по 24 флакона (3-х кратная повторность). Измерения количества углекислого газа выделенного в ходе базального и субстрат-индуцированного дыхания проводились на 1, 2, 3, 6, 7, 11, 16 сутки соответственно, на газовом хроматографе Кристалл 5000.2.

Скорость выделения CO_2 из почвы при базальном (микробном) дыхании (БД) измеряли в увлажненной почве, инкубированной в течении 24 часов при комнатной температуре в первую неделю, определяли до трех раз в сутки. Величину БД выражали в $\text{мкг С-}\text{CO}_2 / (\text{г почвы} \cdot \text{ч})$ [7]. После использовали те же флаконы для измерения скорости субстрат-индуцированного дыхания (СИД). Их проветривали в течение 10 мин, а затем добавляли 0,5 мл раствора глюкозы 10 г/л и через два часа измеряли содержание CO_2 во флаконе. Инкубация проходила при комнатной температуре [7], [8].

Результаты и обсуждение

Агрохимическая характеристика почв

1. Агрохимическая характеристика почвы

Варианты	pH H_2O	pH KCl	H г мг- экв/100г п.	Al подв. мг/100 г п.	Нобм. мг- экв/100г п.	S мг- экв/100г п.	K. мг- экв/100г п.	V, %
Сильнокислая почва	5,3	4,6	4.58	0.7	0,30	2,03	1,28	31,46
Слабокислая почва	5,9	5,4	3.03	<0.01	0,06	3,29	1,05	52,02
Нейтральная почва	6,9	6,2	1.58	<0.01	0,04	5,45	0,93	77,58

Как видно из таблицы №1 образцы исследуемой почвы значительно отличаются. не только по различным показателям кислотности, но также и по содержанию подвижного калия. Наличие подвижно алюминия наблюдается только в кислой почве. По показателю степени насыщенности почвы основаниями (V, %) кислая почва нуждается в известковании.

Для оценки интенсивности выделения CO_2 почвой мы провели определение БД, т.к. данный показатель характеризует микробиологическую активность в почве при моделировании естественных условий среды. Следует отметить, что при добавлении извести выделение CO_2 будет отражать не только изменение микробиологической активности при воздействии CaCO_3 на микробоценоз, но и выделение CO_2 при разложении извести.

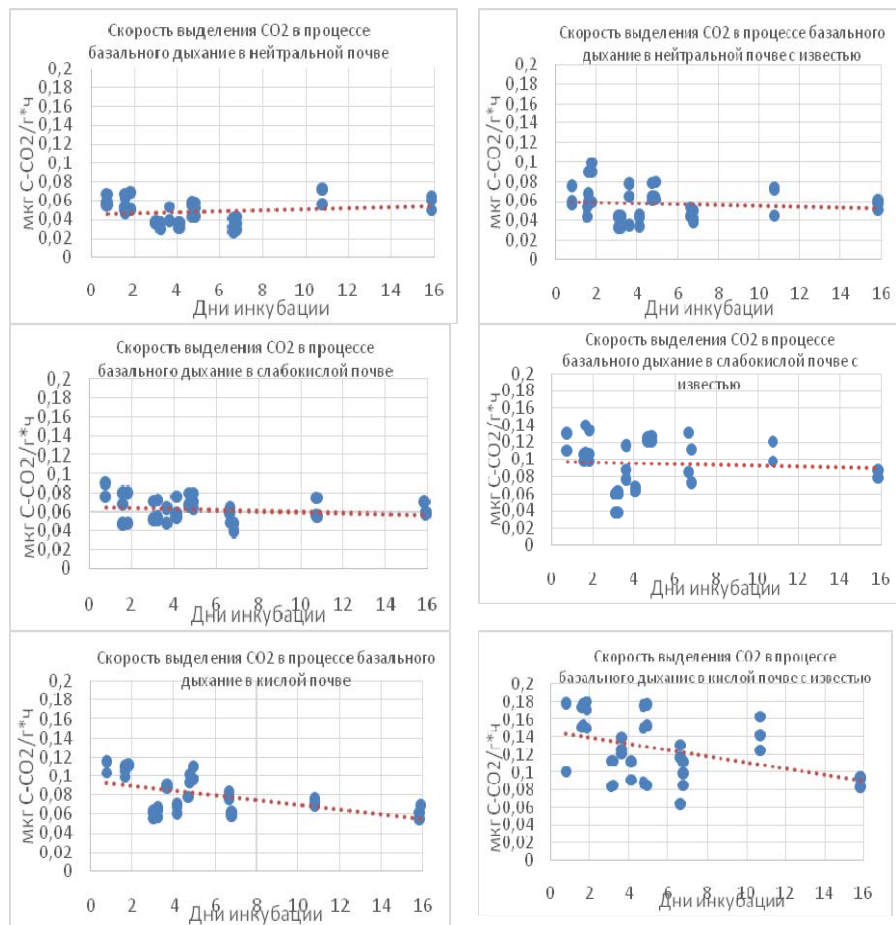


Рисунок 1. Скорость выделения CO_2 в процессе базального дыхания в почвах (без извести и с известью) в период инкубационного эксперимента.

Количественно внесение извести не оказало заметного воздействия на БД нейтральной почвы, однако явно видно, что направление тренда изменилось, что возможно связано со слабым и кратковременным действием извести в первые дни инкубации (рис. 1). На графиках для кислой и слабокислой почвы заметно положительное влияние известкования на динамику выделения CO_2 на протяжении всего срока проведения эксперимента.

Субстрат индуцированное дыхание

Для оценки максимально возможного уровня выделения CO_2 мы провели определение СИД, т.к. оно характеризует потенциальное выделение углекислого газа всем микробным сообществом, сформированным в почве, при устранении лимитирования по доступному органическому субстрату.

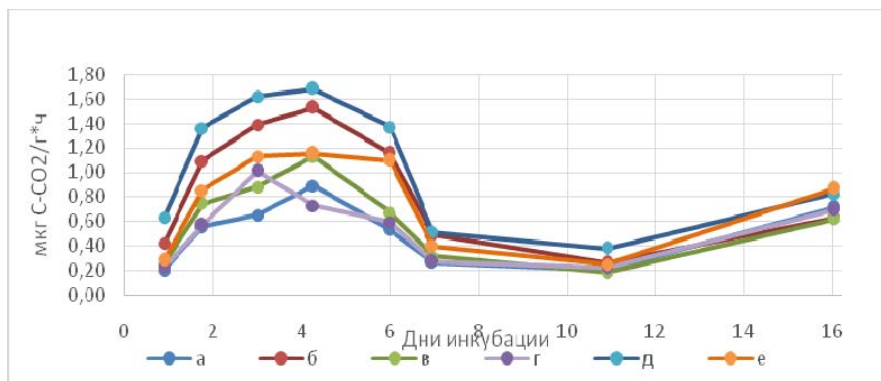


Рисунок 2. Скорость выделения CO_2 в процессе субстрат-индуцированного дыхания в почвах (без извести и с известью) в период инкубационного эксперимента. (а-нейтральная почва, б-кислая почва, в-слабокислая почва, г-нейтральная почва + известь, д – кислая почва + известь, е – слабкокислая почва + известь)

Из рисунка 2 видно, что скорость выделения CO_2 при субстрат-индуцированном дыхании достигает максимальных значений на кислой почве, и на кислой почве с добавлением извести, тогда как на нейтральную почву известь в этом отношении практически не повлияла, за исключением первых трёх суток инкубации. Также заметно, что при внесении извести в слабкокислую и кислую почву график также смещается в верх по оси ординат. При этом прирост выделения CO_2 при добавлении глюкозы и извести в первые дни

эксперимента численно превосходит аналогичный прирост в результате добавления извести при измерении БД. Таким образом, увеличение СИД при известковании кислых почв связано главным образом с увеличением и активизацией микробной биомассы.

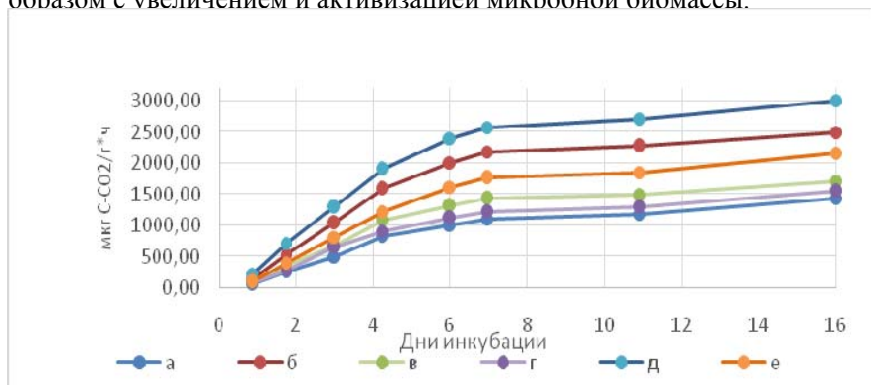


Рисунок 3. Суммарное выделения CO_2 в процессе СИД в почве (без извести и с известью) в период инкубационного эксперимента. (а-нейтральная почва, б-кислая почва, в-слабокислая почва, г-нейтральная почва + известь, д – кислая почва + известь, е – слабокислая почва + известь)

В ходе протекания микробной сукцессии СИД во всех вариантах опыта проходит свой максимум на первой неделе эксперимента, после чего снижается. Суммарные потери почвенного углерода в виде CO_2 (рис. 3) наиболее значительны в кислой почве и особенно в кислой почве после известкования.

Микробная сукцессия сопровождается также изменением соотношения БД и СИД, что связано как с изменением пропорции активной и общей микробной биомассы, так с различной эффективностью использования субстрата доминирующими микроорганизмами. Из рисунка 4 видно, что самое высокое соотношение БД к СИД наблюдается на 1 и 11 сутки. Причем у нейтральной почвы и слабокислой почвы, а также у этих почв с добавлением извести доля БД в СИД на 1 и 11 сутки совпадает, в отличие от кислой и кислой с добавлением извести почв, где данный показатель отличается, и явно меньше на 1 сутки, чем на 11.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что при внесении извести ее действие пролонгировано, и оказываемый эффект на активность микробных сообществ будет наблюдаться значительно больше 10 дней на почвах кислых и слабокислых при дозе по одной гидролитической кислотности, в отличие от нейтральной, где такое воздействие значительно слабее и наблюдалось только на первые трое суток.

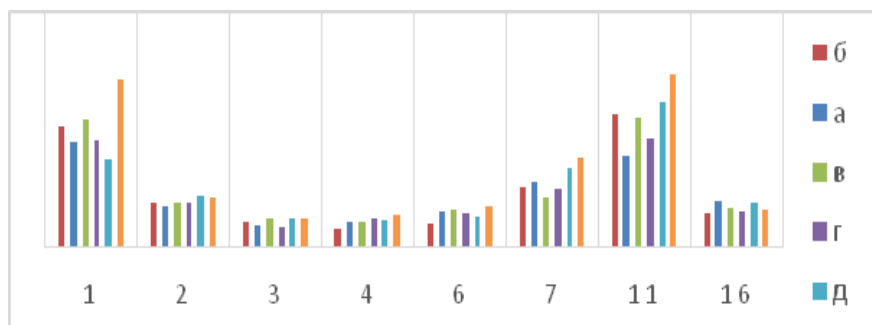


Рисунок 4. Соотношение БД к СИД почв (а-нейтральная почва, б-кислая почва, в-слабокислая почва, г-нейтральная почва + известь, д – кислая почва + известь, е – слабокислая почва + известь)

Максимальной биологической активностью обладала кислая почва, и особенно при добавлении извести.

Литература

1. Кудяров В.Н, Современное состояние гумуса и питательных веществ в земледелии России. Агрохимия в XXI веке. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева. 27-28 сентября 2018 г. Под редакцией Романенкова В.А.с.23-29.
2. Савоськина О.А., Полин В. Д., Влияние длительного применения удобрений и известкования на дыхание дерново-подзолистой почвы при возделывании полевых культур бессменно и в севообороте, Агрофизика №4, 2015, с. 26-30.
3. Налиухин А.Н., Мёрзлая Г.Е., Максимова А.С., Силуянова О.В., Белозёров Д.А., Ерегин А.В, Эффективность органических и минеральных удобрений при известковании дерново-подзолистой почвы // Плодородие №2, 2018, с. 42-45.
4. Бакина Л.Г., Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Изменение содержание состава гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте по известкованию // Почвоведение, 2011, №5, с. 572-581.
5. De Shorn E. Bramble, Gregory A. Gouveia, Ravindra Ramnarine, Richard E. Farrell, Organic residue and agricultural lime interactions on CO₂ emissions from two contrasting soils: implications for carbon management in acid soils // Journal of Soils and Sediments (2021) 21:172-188. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02736-7>.

6. Минеев В.Г. и др. Практикум по агрохимии // Учебное пособие – 2-е изд., перераб. и доп. / Изд-во МГУ, 2001, с-689.
7. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova O.V., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // Eur. J. Soil Biol. 2008. V. 44(2). P. 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.002>
8. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10(3). P. 215-221. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8).

Мицелиальные актинобактерии как индикаторы состояния почв (на примере заповедника Пу Хоат и других национальных парков)

Дорченкова Ю.А., Грачева Т.А., Степанов А.Л.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
juliadorchenkova@gmail.com*

Мицелиальные актинобактерии – это группа микроорганизмов, которые принадлежат к филуму *Actinobacteria* и играют важную роль в почвенной экосистеме. Они обычно обитают в верхних слоях почвы и играют ряд важных функциональных ролей в почве. Кроме того, мицелиальные актинобактерии могут служить индикаторами состояния почвы по следующим причинам.

1) Показатель биологической активности: количество и активность мицелиальных актинобактерий в почве могут указывать на общую биологическую активность почвенной экосистемы. Более высокое количество и активность этих микроорганизмов обычно свидетельствует о более здоровой и активной почве.

2) Разложение органических материалов: мицелиальные актинобактерии играют ключевую роль в разложении органических веществ в почве. Их присутствие и активность могут указывать на способность почвы к эффективному разложению органических остатков и циркуляции питательных веществ.

3) Фиксация азота: некоторые виды мицелиальных актинобактерий способны фиксировать азот из атмосферы и делать его доступным для растений. Их присутствие может свидетельствовать о способности почвы обеспечивать растения азотом.

4) Оценка здоровья почвы: Мицелиальные актинобактерии могут служить индикаторами здоровья почвы. Убыль или снижение активности этих микроорганизмов может быть признаком деградации почвы или негативного воздействия на нее. Для оценки состояния почвы с использованием мицелиальных актинобактерий проводят анализ почвенных образцов, чтобы определить их количество и видовой состав. Эти данные могут быть полезными при разработке стратегий улучшения почвы, таких как внесение удобрений, возделывание соответствующих культур или улучшение практик управления почвой для поддержания ее здоровья и продуктивности.

Помимо этого, индикаторным показателем здоровья экосистемы является биологическое разнообразие. Изучение биоразнообразия

различных регионов нашей планеты является вопросом перво-степенной важности в связи с усилением антропогенного воздействия на естественные биоеоценозы. Наиболее богатыми по видовому разнообразию районами являются тропические леса Северной и Южной Америки, а также Юго-Восточной Азии [1]. Изучение численности и разнообразия микробных сообществ в почвах тропических лесов очень важно как с точки зрения понимания роли микроорганизмов в процессах почвообразования, так и с точки зрения их участия в круговороте биофильных элементов в условиях тропического климата.

Таким образом, целью работы является: оценка численности, таксономического состава и экофизиологических характеристик мицелиальных актинобактерий в тропических почвах и сопряженных субстратах заповедных зон Вьетнама. Задачи исследования: оценка численности, длины актиномицетного мицелия в прокариотных микробных комплексах исследуемых субстратов; сравнительная характеристика таксономического состава микробных локусов заповедных зон Вьетнама; оценка экофизиологических особенностей (способность к росту при различных значениях pH и температурах, способность к разложению целлюлозы и образованию биологически активных соединений).

Результаты исследований субстратов тропических лесов Вьетнама показали, что актиномицеты являются неотъемлемым компонентом всех микробных комплексов заповедных зон Вьетнама. Численность актиномицетов, длина мицелия и видовое разнообразие в исследуемых экосистемах была высокой. В актиномицетных комплексах доминировали представители секции и серии *Cinereus Achromogenes*, второе место по распространению занимали стрептомицеты секций и серий: *Albus Albus*, *Helvolo-Flavus Helvolus*, *Cinereus Chromogenes*.

Наибольшая численность актиномицетов (108 КОЕ/г) и длина мицелия (1000 м/г) отмечалась в опаде широколиственного леса национального парка Суан Шон, расположенного в северной части Вьетнама. В южной части Вьетнама, в субстратах национального парка Кон Ка Кинь наблюдалась наименьшая длина актиномицетного мицелия, при этом наиболее богатое таксономическое разнообразие.

Для оценки экофизиологических особенностей из исследуемых природных субстратов методом последовательных пересевов было выделено в чистую культуру 80 штаммов стрептомицетов (9 из субстратов, отобранных на территории Суан Шон, 20 – Пу Хоат, 7 – Пу Мат, 14 – Кон Тю Ранг, 13 – Кон Плонг, 17 – Кон Ка Кинь). Чистые культуры выделенных актиномицетов были проверены на способность

к разложению целлюлозы. У 35% штаммов отмечался обильный рост на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой, у 19% – средний рост и у 38% скудный рост.

В связи с тем, что исследуемые субстраты почв и растительного опада обладали кислой реакцией среды, выделенные штаммы актиномицетов были проверены на способность расти при пониженных значениях pH среды. Чистые культуры инкубировали на средах с pH 5 и pH 4. Все штаммы показали рост на среде с pH 5, из них 73% росли на среде с pH 4. Повышение кислотности питательной среды сопровождалось изменением окраски воздушного и субстратного мицелия инкубируемых штаммов. Для 5 штаммов, выделенных из образцов почв, опада и подвешенных почв оценили температурный диапазон роста, которые оказались термотолерантными организмами.

Все штаммы были протестированы на антибиотическую активность по отношению к тест-организмам, относящимся к разным филогенетическим группам. 50 штаммов проявили значительную антибактериальную активность. Штаммы, обладающие наибольшей антибиотической активностью, были выделены из почвы, опада и подвешенной почвы заповедника Пу Хоат. Они были протестированы на широкий спектр грамположительных и грамотрицательных тест-бактерий (*Rhodococcus erythropolis*, *Cellulomonas* sp., *Mycrococcus* sp., *Brevibacterium* sp., *Arthrobacter globisporum*, *Promicromonospora* sp.) и показали высокие зоны задержки роста большинства из них. Одними из наиболее активных оказались штаммы, представленные видами *Streptomyces cellulosae* и *S. pratensis*, видовая принадлежность которых была уточнена молекулярно-биологическими методами.

В связи с тем, что субстраты природного заповедника Пу Хоат отличались наиболее активными штаммами, для них было проведено высокопроизводительное секвенирование тотальной почвенной ДНК. Для определения разнообразия микробного сообщества были взяты образцы аллювиальной бурой почвы, листовного опада и «подвешенной почвы» из корзинок эпифитов. Доля филума Actinobacteriota составляла от 7 до 11% от общего числа прокариотных последовательностей. Во всех исследованных образцах филум Actinobacteriota был представлен тремя классами: Actinomycetia, Thermoleophilia, Acidimicrobiia. В аллювиальной бурой почве филум Actinobacteriota составляет 9% от общего числа прокариотных последовательностей. Среди таксонов преобладают семейства Acidothermaceae (28% от филума актинобактерий), Micromonosporaceae (12%), Streptomycetaceae (11%). Семейство Acidothermaceae доминирует в актинобактериальном комплексе, это ацидофильные термофильные микроорганизмы,

обладающие термостабильными ферментами, способными разлагать целлюлозу. В растительном опаде филум *Actinobacteriota* составляет 7% от общего числа прокариотных последовательностей. Среди таксонов преобладают семейства *Micromonosporaceae* (13% от филума актинобактерий), *Microbacteriaceae* (13%), *Streptomycetaceae* (9%). Что хорошо согласовывается с литературными данными, по которым семейство *Microbacteriaceae* в наибольшей степени распространено в подстилке и филлосфере. В почве из корзинок эпифитов филум *Actinobacteriota* составляет 11% от общего числа прокариотных последовательностей. Доминируют представители семейства *Acidothermaceae* (24% от филума актинобактерий, 47% от домена *Bacteria*), *Frankiaceae* (6%), *Thermomonosporaceae* (5%). Данные анализа говорят о присутствии в субстратах ацидофильных и термофильных актиномицетов. В библиотеке фрагментов гена 16S рРНК из образца аллювиальной бурой почвы доминировали представители рода *Acidothermus*, некультивированные *Gaiellales* и *Acidimicrobiia* (17.1, 13.9 и 9.5% от общего числа последовательностей соответственно). Те же доминанты отмечены и для образца почвы из корзинок эпифитов. В библиотеке листовного опада значительная доля принадлежит бактериям родов *Solirobrobacterales* (9,0%), *Streptomyces* (6,0%), *Actinoplanes* (6,0%), *Acidothermus* (5,3%) и *Jatrophihabitans* (5,3%).

При использовании модуля Local Mapper программы iVikodak на основании базы данных KEGG был проведен анализ ферментов пути обмена крахмала и сахарозы, потенциально образуемых исследуемыми сообществами. Фермент целлюлаза [EC 3.2.1.4] осуществляющий разложение целлюлозы до D-глюкозы был найден во всех трех анализируемых природных субстратах, отобранных на территории природного заповедника Пу Хоат. Фермент был наиболее обильно представлен в образцах аллювиальной бурой почвы и почвы из корзинок эпифитов и в меньшей степени обнаружен в образце листового опада. Эти результаты подтверждают возможность деградации целлюлозы до D-глюкозы актинобактериями, присутствующими в исследованных образцах природных субстратов. Отмечается высокая активность в биодеградации целлюлозы в почвенных образцах представителей рода *Acidothermus* (25.01 и 26.42% в аллювиальной бурой почве и почве из корзинок эпифитов соответственно). В листовом опаде доминируют в разложении целлюлозы представители родов *Streptomyces* (19.26%) и *Actinoplanes* (17.81%). Таким образом, метаболический потенциал почвы может быть спрогнозирован

с помощью анализа видового состава и метаболического потенциала прокариотных сообществ.

Установлено, что мицелиальные актинобактерии являются неотъемлемым компонентом прокариотных сообществ подвешенных почв Вьетнама. Высокая численность, широкое таксономическое разнообразие, уникальные экофизиологические характеристики показывают, что актиномицеты занимают существенное место в биологическом круговороте тропических лесов и представляют значительный интерес для дальнейших исследований в поисках потенциальных биотехнологических штаммов.

Почвенные и микроклиматические показатели успешного функционирования зелёных крыш ботанического сада МГУ

Клушина С.И., Тосхопоран А.К., Раппопорт А.В.

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва*

*spieks70@gmail.com, stasy.toskhoporan@gmail.com,
arapp@mail.ru*

Введение

Зеленые крыши представляют собой специально созданные конструкции, которые позволяют обращать крыши сооружений в активно используемое пространство. Концепция зеленых крыш имеет давние корни и находится в активной фазе развития. Идея использования крыш для создания зеленых насаждений продолжает развиваться в современном мире, в котором вопросам охраны окружающей среды и энергосбережения уделяется большое внимание.

Зеленые кровли имеют целый ряд положительных эффектов, таких как улучшение качества воздуха, снижение энергопотребления, водоудержание и снижение уровня шума (Del Barrio E. P., 1998; Saiz S. et al., 2006; Mentens J., Raes D., 2006). Для достижения максимальной эффективности зеленых крыш, необходимы правильный подбор субстратов и методов их создания, а в дальнейшем осуществление мониторинга почвенных и микроклиматических показателей. И, если вопросам технологии создания зеленых крыш уделяется большое внимание, то мониторинг их функционирования в наибольшей степени представлен исследования растительного покрова.

Целью исследования является изучение функционирования зелёных крыш на примере ботанического сада Московского государственного университета (МГУ).

Объекты и методы

Объектами исследования стали зеленые кровли входной группы ботанического сада МГУ на Воробьевых горах, обустроенные по типу ландшафтов-аналогов растительных сообществ зон тундры (I) и степи (II). Основной задачей при создании крыш было получить сообщества визуально схожие с естественными для тундры и степи. Растительное сообщество-аналог тундры флористически не соответствует природ-

ному, единственным представителем зональной флоры является карликовая береза, остальная часть представлена ксерофитными растениями. Степной аналог максимально приближен к естественному сообществу. Крыши являются экстенсивными, полив на них не ведется. Данные ксерофитные сообщества были выбраны как наименее требовательные. Каждая кровля логически поделена на несколько сегментов в соответствии с используемыми субстратами (табл. 1).

1. Состав использованных смесей

Крыша	I			II			
Субстрат	1	2	3	1	2	3	4
Пеностекло	45%	-	-	40,5%	45%	25%	30%
Компост	10%	25%	-	22,5%	25%	25%	20%
Кирпичная крошка	45%	75%	100%	-	-	25%	50%
Известняк	-	-	-	27%	30%	25%	-
Бентонитовая глина	-	-	-	10%	-	-	-

Для определения агрофизических характеристик смесей были использованы: для определения плотности субстратов – буровой метод, определение твердости велось твердомером Качинского, определение коэффициента фильтрации методом трубок с постоянным напором. Плотности и влажности субстратов определены в 3-х кратной повторности, пенетрация – в 10-ти кратной в июне 2023 года. Измерение микроклиматических параметров проводилось переносной метеостанцией.

Результаты

Определение проективного покрытия растительного сообщества для каждого варианта составило: для субстрата I.1 35% (20% – без мха); I.2 10% (7% – без мха); I.3 45% (30% – без мха); II.1 70% (65%); II.2 70% (55%); II.3 65%(30%); II.4 80%.

Для обеих крыш наименьшие значение плотности отмечаются для субстратов I.1, II.1 и II.2, с долей пеностекла более 40%. (рис. 1).

Оценка по шкале оптимальных значений плотности почвы с учетом размера слагающих частиц для большинства культур (Бондарев,1985) показывает, что данные субстраты имеют низкие значения плотности, что может привести к снижению темпов роста и развития растений вследствие отсутствия возможности для закрепления в грунте корневых систем.

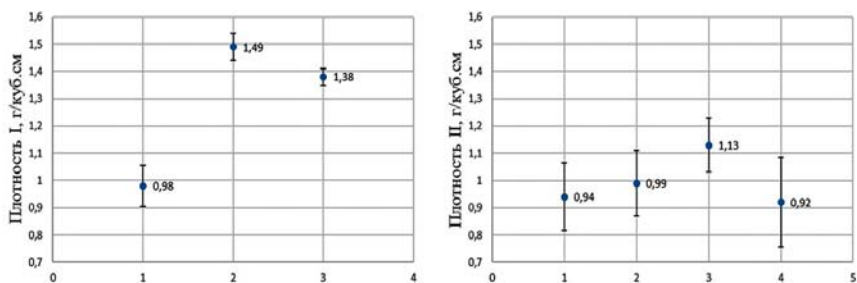


Рис. 1. а) Плотность субстратов крыши I буровым методом(слева),
б) Плотность субстратов крыши II буровым методом(справа)

Однако, важно отметить, что плотность насыпных субстратов зеленых крыш должна быть ниже естественных почвенных. Для этого есть несколько причин, в их числе, необходимость снижения массы субстрата и обеспечения безопасности эксплуатации кровли, предотвращающей её обрушение, а также отсутствие присущей почве естественной фауны, в особенности дождевых червей, разрыхляющих и перемешивающих грунт.

Субстраты I.2, I.3, II.3 с большим содержанием кирпичной крошки 100, 75, 25% или равным пеностеклу (25%) проявляют оптимальные значения плотности согласно шкале Бондарева.

Поскольку обе крыши находятся в одинаковых климатических условиях, количество осадков для них будет равное. Массовая влажность всех субстратов колеблется в широком диапазоне от 24 до 36%. Расчет объемной влажности показал наличие свободных пор аэрации и отсутствие переувлажнения. Наибольшая влажность выявлена для субстратов с содержанием кирпичной крошки более 40%. Для крыши I, отмечаются более высокие значения сопротивления пенетрации – всех исследованных субстратов и превышают 100 кПа. Крыша II, напротив, характеризуется близкими показателями варьирующими в диапазоне 71,3 - 76,3 кПа. Объяснением может служить наличие в субстратах крыши “Степь” крупных частиц пеностекла не скрепленных между собой, что способствует легкому проникновению корневых систем растений в субстраты.

Варианты I.1 и II.4 имеют наименьшие значения плотности, что обусловлено большей биомассой, поступающей на их поверхность, в том числе и с опадом грушевого дерева, крона которого расположена над этими площадками.

Значения коэффициента фильтрации (Кф) варьируют в широком диапазоне (рис. 3). Прослеживается зависимость Кф от состава суб-

страта: для вариантов I.1, II.1 II.2 с долей пеностекла более 40%, способствующего созданию более крупных пор, показатели коэффициента фильтрации выше и достигают 127 м/сут для крыши “Степь” и 47 м/сут для крыши “Тундра”.

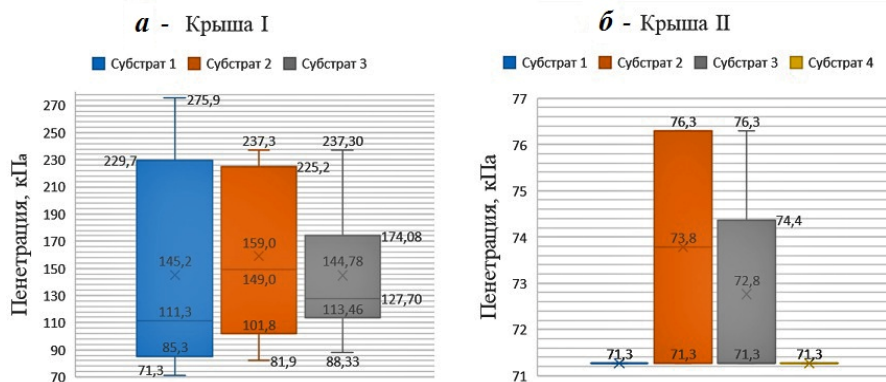


Рис. 2. а) Твердость субстратов крыши I твердомером Качинского (слева), б) Твердость субстратов крыши II твердомером Качинского (справа)

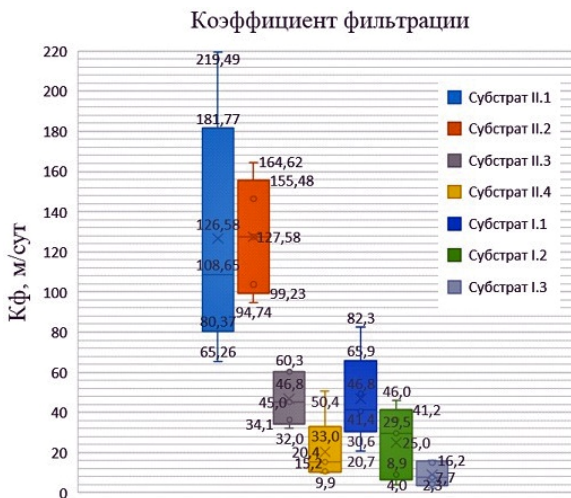


Рис. 3. Коэффициент фильтрации субстратов крыши I и II методом турбок

Это соответствует диапазону исключительно высокой фильтрации, согласно градации Эггельсманна. Отметим, что Кф снижается с ростом

содержания кирпичной крошки в составе субстрата. Для субстрата П.4 (45%) он составил 20 м/сут, для субстрата I.2 (100%) – 8 м/сут.

Небольшая доза бентонитовой глины не дала различий в значениях агрофизических показателей для одинаковых по составу субстратов П.1 с содержанием бентонитовой глины 10% и П.2 без глины.

Микроклиматические показатели

Измерения проводились одновременно в течение 30 мин (16:15-16:45) 21 июля 2023 года. Прибор был установлен на высоте 2 м от поверхности крыши. Был проанализирован ряд показателей: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление.

Температура в среднем составила 24°C, что указывает на незначительное влияние типа субстрата.

Показатели влажности также незначительно варьируют между собой.

Скорость ветра на крыше тундра превышает показатели крыши степь (рис. 4). Это может быть связано с отсутствием высоких растений, способных снижать скорость ветра, на зеленой крыше “Тундра”. В то же время, на крыше “Степь” присутствует плотный растительный покров, способствующий задержанию ветровых потоков. Так же отчасти растительность, окружающая постройку, может выступать в качестве некоего барьера. Но все же такая значительная разница в значения с большей вероятностью связана со сложностями измерений и непостоянным направлением ветра.

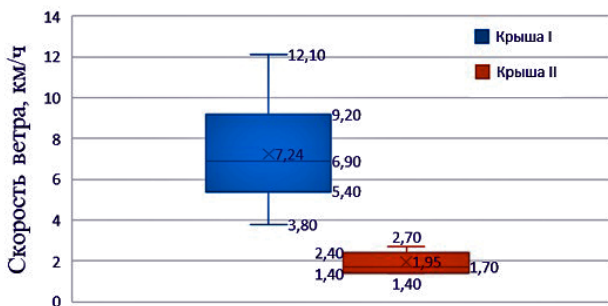


Рис. 4. Скорость ветра на крышах I и II

Как показал эксперимент, на высоте двух метров значимых различий состояния атмосферного воздуха между крышами нет.

Соответственно, влияние окружающей среды оказывается одинаковым.

Также прослежено влияние растений, не входящих в ассортиментный состав самих зелёных крыш, а находящихся рядом, посредством внесения сезонного опада, как дополнительного органического вещества.

Выводы

1. Была установлена взаимосвязь агрофизических показателей с основными компонентами субстратов и растительным сообществом. Субстраты, наиболее соответствующие оптимуму значений плотности (Бондарев, 1985) – изготовленные на основе кирпичной крошки.

2. Микроклиматические показатели на высоте двух метров варьируют незначительно. Влияние оказывает окружающая зеленые крыши растительность Ботанического сада, затеняя некоторые субстраты и привнося дополнительное органическое вещество.

3. Проектное покрытие растительного сообщества больше на субстратах с содержанием пеностекла > 40%.

Литература

1. Del Barrio E.P. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings // Energy and buildings. – 1998. – Т. 27. – №. 2. – С. 179-193.
2. Saiz S. et al. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs //Environmental science & technology. – 2006. – Т. 40. – №. 13. – С. 4312-4316.
3. Mentens J., Raes D., Hermly M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? //Landscape and urban planning. – 2006. – Т. 77. – №. 3. – С. 217-226.
4. Фаустова Е.В., Корытина М.А., Мороз Н.А. Особенности строения и физические свойства конструктоземов и их компонентов, предназначенных для обустройства зеленой кровли //Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы. – 2019. – С. 717-720.

Урожай и качественные показатели картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при фолиарной обработке гуминовыми препаратами с антиоксидантными свойствами на фоне минеральных удобрений

¹Кочетков И.М., Кубарев Е.Н., ²Федорова Т.В.

¹Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова Москва, * lfdyt@yandex.ru,
²ФИЦ биотехнологии РАН

Введение

Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур мира – площади его выращивания постоянно увеличиваются (FAOSTAT). Вместе с тем возникает потребность в поиске новых, эффективных удобрений и методик возделывания способных повлиять на выход товарных клубней и качество урожая [Куликова, 2008]. Одним из способов повышения этих характеристик культуры является использование физиологически активных препаратов [Лукиянова, Верховцева, 2019; Bulgari et al., 2015], в частности, гуминовых препаратов [Безуглова, Полиенко, 2011; Nardi, Pizzeghello, 2002] с учетом их антиоксидантных свойств. Цель данного исследования – изучить влияния гуминовых препаратов на урожайность и биохимические показатели картофеля.

Объекты и методы

Полевой опыт был проведен в 2022 году на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ имени М.В. Ломоносова, на средне окультуренной дерново-подзолистой почве. Содержал семь вариантов (табл. 1). Расположение делянок, площадью 6 м², рандомизированное. Фон из минеральных удобрений создавали перед посадкой клубней с использованием гранулированной нитроаммофоски в дозе N32P32K32 во время посадки. Дополнительно внесли такую же дозу на второй, третий, пятый и седьмой варианты. Кроме того, в день закладки опыта непосредственно в рядки третьего варианта внесли дополнительно 104 кг/га порошкообразного сульфата калия (т.е. 52 кг/га калия). Варианты с 4-ого по 7-ой были обработаны фолиарно гуминовых препаратов (ГП) с разведением 1 : 400. Обработку проводили дважды по 1,5 л/га - в фазе цветения (06 июля

2022 г.) и в конце цветения (29 июля) с помощью опрыскивателя «Finland 5л».

В исследовании использовали методики определения количественных и качественных характеристик полученного урожая. Урожайность картофеля оценивалась поделяночно вручную. Товарность клубней картофеля определялась вручную в соответствии с принятым в РФ нормативными документами [ГОСТ Р 51808-2001] как для раннеспелого картофеля первого класса. Анализ показателей клубней картофеля осуществляли согласно стандартным методикам [Минеев, 2001]. Крахмалистость определяли из сухого вещества на поляриметре [ГОСТ Р 51808-2001]. Антиоксидантную активность препарата «Гумистар универсальный» и «БиоГумат» изучали *in vitro* по отношению к катион-радикалу АБТС [Re, 1999]. Коэффициент увлажнения Селенинова (ГТК) рассчитывался стандартной методикой [Ионова и др., 2019] по данным, полученным с метеостанции почвенно-экологического центра Чашниково.

Результаты и их обсуждение

В соответствие с нашей гипотезой исследований о значении антиоксидантной активности ГП для урожая и его качественной характеристики было проведено определение этой его характеристики. Для неразведённого препарата Гумистар антиоксидантная активность составляет 1550 ± 50 мкМ ТЭ/л (ТЭ - эквивалентов Тролокса), в то время как для препарата БиоГумат это значение равнялось 2159 ± 35 мкМ ТЭ/л.

Для почвенных гуминовых веществ характерны показатели по этому критерию от 4,38 до 26,57 [Re, 1999, Rimmer, 2006]. Таким образом, показатели антиоксидантной активности ГП значительно превосходили действие схожих веществ в почве. Однако с учётом разведения, антиоксидантная активность Гумистара составляла $3,88 \pm 0,13$ мкМ ТЭ/л, а БиоГумата $5,39 \pm 0,09$. Как мы предполагали, фоллиарная обработка растений такими препаратами должна была повысить устойчивость растений и положительно сказаться на выходе товарного картофеля.

Несмотря на то, что наибольший урожай картофеля наблюдался в контрольном варианте, после учёта нетоварного картофеля было обнаружено, что гуминовые препараты снижают потери урожая и повышают выход пищевой фракции (табл. 1). При этом наибольший выход товарного картофеля наблюдался в четвёртом варианте полевого опыта.

1. Схема опыта и урожайность картофеля.

Вариант опыта	Урожай, с уч. нетоварн. фракц.			Урожай, товарного картофеля		
	Урожайность, т/га	Прибавка урожая		Урожайность, т/га	Прибавка урожая	
		т/га	%		т/га	%
1.Контроль (фон –N32P32K32)	38,2	-	-	16,5	-	-
2.Фон + N32P32K32	32,7	-5,5	-14,4	10,2	-6,3	-38,2
3.Фон + N32P32K32 + K52	22,4	-15,8	-41,4	12,7	-3,8	24,5
4.Фон + "Гумистар"	38,7	0,5	1,27	19,7	3,2	19,42
5.Фон + N32P32K32 + "Гумистар"	34,8	-3,4	-8,9	18,7	2,2	13,34
6. Фон + БиоГумат	36,2	-2	-5,2	18,2	1,7	10,22
7. 5.Фон + N32P32K32 + "БиоГумат"	34,7	-3,5	-9,2	17,4	1	5,79
НСР	3,79	-	-	2,2	-	-

*ФО – фактическая окупаемость удобрений, в числителе без учета потерь товарности, в знаменателе – с учетом. Участки с «—» обозначают отсутствие расчетов.

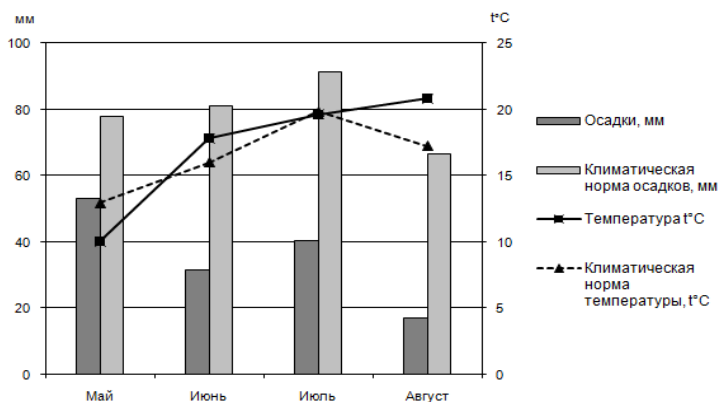


Рисунок 1. Метеоданные вегетационного периода 2022 года.

После учёта урожая, нами были определены биохимические показатели картофеля. Наибольшую крахмалистость на сухое вещество наблюдали в вариантах с использованием гуминовых препаратов на низком минеральном фоне (табл. 2).

Дополнительные калийные удобрения на высоком минеральном фоне (вариант 3) не повысили прибавку к урожаю, что предположительно могло быть связано с погодными условиями на территории почвенно-экологического центра (рис. 1). ГТК составлял 0,736, что классифицирует вегетационный период в целом, как

характерный засушливый. Дефицит водного баланса в течение вегетации картофеля, по-видимому, неблагоприятно сказалось на урожае картофеля и выходе товарной фракции.

2. Содержание питательных веществ в клубнях картофеля

Вариант	Крахмалистость, на с.в.	Моносахариды	Дисахариды	N белк	N общ	K ₂ O	P ₂ O ₅	Нитраты, мг/кг	Вит. С, мг/100 г
	%								
1	68,7	2,1	1,3	0,97	1,84	4,07	1,04	86,74	4,30
2	69,9	1,5	0,9	1,25	2,10	4,66	0,75	38,74	5,83
3	68,2	1,8	1,1	1,40	2,53	4,87	0,48	40,52	6,00
4	72,5	1,5	1,2	1,63	3,24	4,78	0,47	41,41	8,09
5	69,6	1,5	1,0	1,45	2,42	4,59	0,59	52,06	7,49
6	77,2	1,7	1,2	1,49	3,06	3,89	0,70	57,55	4,50
7	72,7	1,6	1,1	1,46	2,85	5,65	0,59	37,92	7,13
НСП 0,05	1,6	0,14	0,15	0,12	0,25	0,46	0,12	11,91	0,85

Стоит отметить, что, отношение моносахариды + дисахариды / N_{белк} – коэффициент, который характеризует использование углеводов для биосинтеза белка – в вариантах с использованием БиоГумата выше, чем в вариантах с Гумистаром – 1,94 и 1,85 против 1,66 и 1,73 для низкого и высокого минерального фона, соответственно. Хотя, при этом в варианте 4 наблюдалось более высокое содержание белкового азота, при коэффициенте N_{белк}/N_{общ} 0,5, что может свидетельствовать о неблагоприятных условиях и слишком ранней уборке для биосинтеза белка.

В изучаемых образцах среднее содержание витамина С составляло примерно 6 мг/100 г (табл. 2). Наибольшие прирост по содержанию, примерно в 85% в сравнении с контрольным вариантом, наблюдался в варианте с использованием Гумистара. Стоит, впрочем, отметить, что во всех вариантах кроме БиоГумата на низком минеральном фоне, наблюдалось повышенное количество содержание витамина С, что может указывать на благоприятное влияние гуминовых препаратов на данный показатель. Так как аскорбиновая кислота – природный антиоксидант для растений, стимуляция его выработки гуминовыми препаратами может свидетельствовать о стрессовых внешних условиях для растений, которым в данном исследовании был засушливый вегетационный период.

Наибольшее содержание калия наблюдалось на вариантах, где на фоне повышенного содержания минеральных удобрений были внесены

дополнительные калийные удобрения (вариант 3) и оба варианта Биогумата (вариант 6 и 7). Прирост содержания калия в этих вариантах достиг примерно 20% для 3 и 6, и 39% для 7. Варианты с использованием Гумистара хотя и превосходят контрольный вариант, но отстают по показателям калия от трёх вышеуказанных.

Выводы:

1. Увеличение количества вносимого калийного удобрения (дополнительный K52 на фоне N64P64K64) обеспечило более высокое содержание витамина С, белка и калия по сравнению с контрольным вариантом в клубнях картофеля.

2. Использование препарата Гумистар при выращивании картофеля на фоне минеральных удобрений в невысокой дозе (N32P32K32) способствовало прибавке урожайности товарного картофеля на 19%, а также повышению содержания белка, общего азота, калия, витамина С и незначительному увеличению крахмалистости клубней. Двукратное повышение дозы вносимых минеральных удобрений (N64P64K64) принесло меньшую прибавку урожайности, в районе 13% относительно контроля, способствовало сохранению высокого содержания крахмалистости.

3. Препарат БиоГумат обеспечил прибавку товарного картофеля на 10 и 5% на низком и высоком минеральном фоне, соответственно. На варианте без дополнительного удобрения препарат способствовал получению самой высокой крахмалистости, однако в остальном мало отличался от контроля. С дополнительным минеральным удобрением значительно повышалось содержание калия и витамина С в изучаемых образцах.

Литература

1. Безуглова О.С., Полиенко Е.А. Применение гуминовых препаратов под картофель и озимую пшеницу. // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011 – №4. – С. 29–32.
2. ИONOва Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). // Зерновое хозяйство России – 2019 – №6. – С. 18–22.
3. Лукьянова М.В., Верховцева Н.В. Эффективность применения препаратов с физиологическими активными свойствами при выращивании картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Проблемы агрохимии и экологии. -2019 – № 2. – С. 31–36.

4. Куликова Н.А., 2008. Защитное действие гуминовых веществ в водной и почвенной средах в условиях абиотических стрессов. Дис. ... д-ра биол. наук. Москва, МГУ, 302 с.
5. Практикум по агрохимии: учебное пособие / В.Г. Минеев [и др.]; под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. - Москва: Изд-во МГУ, 2001. - 689 с.
6. Bulgari R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri P., Ferrante A. Biostimulants and crop responses: a review // *Biological Agriculture & Horticulture*. –2015. – V. 31, № 1. – P. 1–17.
7. Nardi S., Pizzeghello D. Physiological effects of humic substances on higher plants // *Soil Biol. Biochem.*–2002–№34.–P. 1527–1536.
8. Re, R. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, C. Rice-Evans // *Free Radic. Biol. Med.* – 1999 – Vol. 26 –P. 1231-1237.
9. Rimmer D.L. Free radicals antioxidants and soil organic matter recalcitrance // *J. Soil Sci.* – 2006 – V.57, №2 – P. 91–94.

**Влияние некоторых агрохимических препаратов
на урожайность, качество и устойчивость чеснока
Allium sativum к нематод *Ditylenchus allium*
в условиях черноземной почвы
Краснодарского края**

Монастырская Е.О. *, Верховцева Н.В.

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

*Москва, * djen-mona@yandex.ru*

Введение

Возбудителем дителенхоза чеснока является луково-чесночная раса стеблевой нематоды. Продолжительность жизни нематод в растении составляет 40-73 дня, за этот период самки откладывают до 400 яиц [Осолодкова, 2021]. Дителенхоз ведет к растрескиванию наружных чешуй в направлении от донца к шейке и образованию трещин вокруг донца. Раскрытие донца приводит к оголению зубков, что, в свою очередь, обеспечивает легкую доступность для других вредителей растения, таких как разлагающие зубки грибы и бактерии [Дякунчак и др., 2020]. Борьба с дителенхами включает в себя все методы, известные в защите растений – агротехнические, химические, физические и биологические [Шестеперов и др., 2014].

Объекты и методы

Хозяйство, где выращивается чеснок в Краснодарском крае и где был заложен опыт, располагается возле станицы Бжедуховская и имеет общую площадь 400 га, чеснок (озимый сорт «Любаша») ежегодно возделывают на площади около 100 га. На полях, где возделывали чеснок были внесены удобрения в дозе N10P26K26 д.в./га. Почвенные условия на территории проведения опыта были благоприятны для развития культуры и не являлись лимитирующими факторами, подавляющими рост растения – обеспеченность почвы подвижным фосфором была средней, калия повышенная, а азота от средней до высокой в зависимости от варианта опыта. Опыт включал 4 варианта — контроль и три варианта с использованием трех препаратов Нематофагин микропро, Карбендазим и Гумифилд Humin Tech, в трех

повторностях, расположение делянок рандомизированное. Общая S заложённого опыта – 72 м², одной делянки 6 м². Для анализа луковиц использовали 15 штук /делянку.

Нематофагин микопро – в основе механизма работы препарата лежит жизнедеятельность хищного гриба *Arthrobotrys oligospora*, который прорастает внутрь нематоды и переваривает ее. Помимо этого, грибы осуществляют перевод фосфора в доступное для растений состояние, помогают развитию корневой системы и подавляют развитие корневых гнилей [Fresenius et al, 2021; mycopro.ru, 2022]. Карбендазим – действующее вещество пестицидов из класса бензимидазолов, один из первых системных фунгицидов, который используется и в настоящее время. [пестициды.ru, 2022]. Гумифилд Humin Tech – препарат на основе гумата калия (Германия). Анти-стрессант и адаптоген, универсальный регулятор роста, в составе которого более 80% солей натуральных гуминовых кислот и 60 микроэлементов [Безуглова и др., 2020]. Препараты применяли в фазу ветвления донца, закладки и роста зубков: Нематофагин-микопро (15 кг/га) и Гумифилд (0,04 кг/га) были внесены в почву в виде растворов, приготовленных согласно рекомендациям производителей, Карбендазим использовали фолиарно (0,8 л/га). После поделаноchnой уборки урожая (ГОСТ № 33562-2015), отбирали растительные пробы для химического анализа. Всего было 12 смешанных образцов, из 15 экземпляров растений с каждой делянки. Сырые пробы фиксировали 10 мин. при 90°C, а затем сушили в термостате при 40°C. Анализ растительных образцов включал определение следующих показателей: содержание общего и белкового азота, K₂O, углеводов [Дурынина, Егоров, 1998; Минеев, 2001].

Пораженность растений нематодой (% пораженных луковиц и количество нематод в образцах) (ГОСТ 27569-87).

Результаты и обсуждение

Анализ урожайных данных луковиц чеснока с вычислением наименьшей существенной разницы НСР [Мешалкина, Самсонова, 2008] показал статистически значимое увеличение их значений на вариантах опыта с применением Гумифилда (рис. 1) Размер луковиц на этом варианте опыта также был значимо больше (рис. 2). С увеличением диаметра луковицы увеличивается и цена, по которой будет продан чеснок. Таким образом, наибольшую прибыль можно получить при внесении именно этого препарата.

Химический анализ данных растений показал, что наибольшее количество белка было в луковицах, отобранных с делянок, где был

внесен препарат Гумифилд (рис. 3). Значимых различий между содержанием общего азота во всех исследуемых растительных образцах не было выявлено (рис. 4).

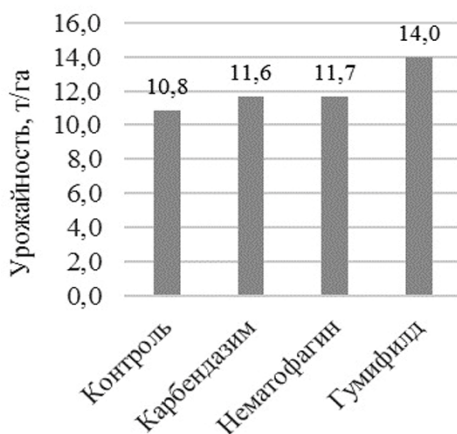


Рисунок 1. Урожайность луковиц чеснока. $НСР_{0,05} = 1,07$.

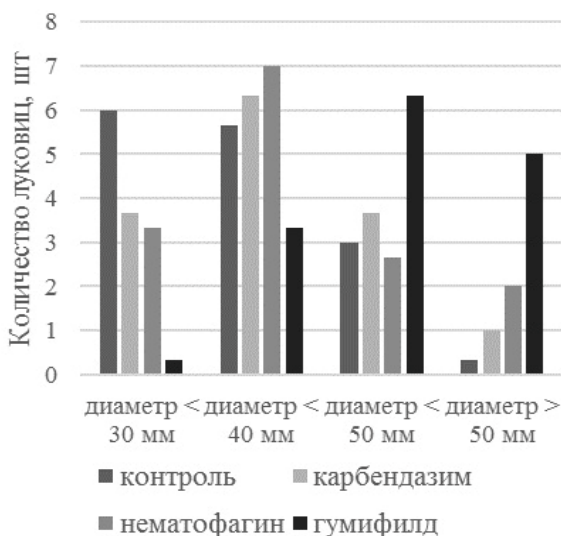


Рисунок 2. Зависимость диаметра луковицы от внесенного препарата.

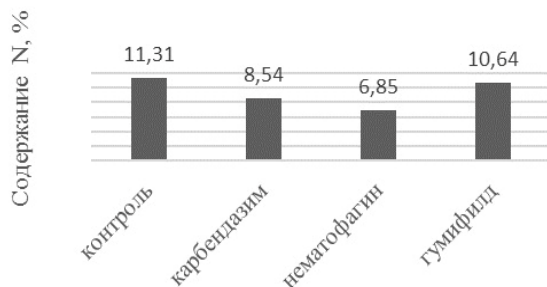


Рисунок 3. Содержания общего азота в луковичах чеснока, $HSP_{0,05} = 3,64$.

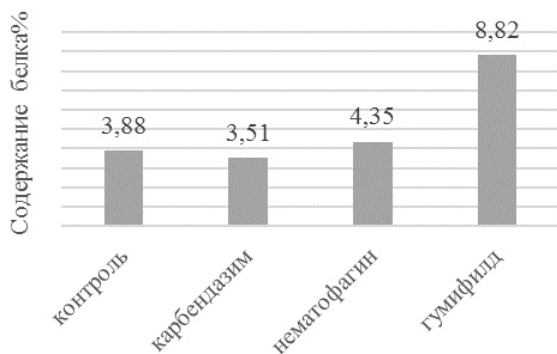


Рисунок 4. Содержание белка в луковичах чеснока $HSP_{0,05} = 0,32$.

Поступающий в растения нитратный азот перед использованием его в белковом синтезе должен быть восстановлен до аммонийного, с использованием необходимого количества метаболического восстановителя НАДН. Количество этого восстановителя в значительной степени связано с пентозофосфатным путем, для которого энергию в виде глюкозы растение получает в процессе фотосинтеза.

Поэтому был проведен анализ лукович и на содержание углеводов в растении (рис. 5), а также калия (рис. 6), который участвует в транспортировке продуктов фотосинтеза.

Значимые различия в этих показателях были выявлены только в растениях варианта Гумифилд. Наблюдалось большее содержание суммы сахаридов за счет количества дисахаридов.

Эффективность препарата Гумифилд в борьбе с негативным воздействием нематод может быть обусловлена содержанием в нем антиоксидантов. В составе гуминовых веществ, на основе которых

изготовлен препарат Гумифилд, содержатся флавоноиды, которые участвуют в обеспечении природного иммунитета и устойчивости растений к различному виду патогенам, в нашем исследовании к нематодам для лукович чеснока.

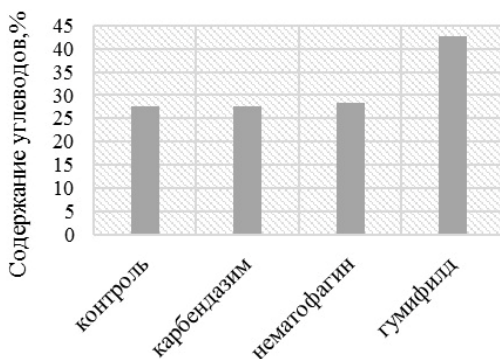


Рисунок 5. Содержание углеводов в луковичах чеснока. $HSP_{0,05} = 7$.

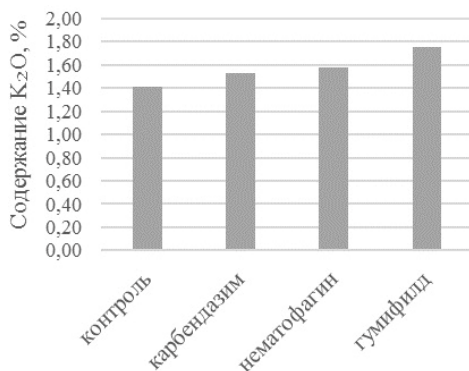


Рисунок 6. Содержание калия в луковичах чеснока. $HSP_{0,05} = 0,21$

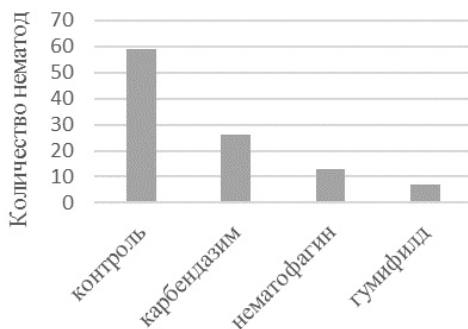


Рисунок 7. Количество нематод (штук/г луковичицы), $HSP_{0,05} = 39$.

Помимо этого, флавоноиды способствуют переносу электронов в ходе фотосинтеза и обеспечивают повышение устойчивости растений к ультрафиолетовому облучению [de Melob et al., 2016], что особенно важно для растений, произрастающих в теплом регионе.

Благодаря адаптогенным свойствам гуминовых веществ стимулируется появление ростков и корней растений, происходит увеличение массы и устойчивость чеснока к вредителям [Поволоцкая, 2019].

Выводы:

1. Наибольшую эффективность в борьбе с негативным влиянием нематоды показал препарат Гумифилд, который повысил урожайность чеснока и диаметр луковицы, содержание белка, калия и дисахаридов.

2. Препарат Нематофагин и Карбендазим не оказали значимое влияние на урожайность чеснока, однако немного снизили процент поражения, а Нематофагин также способствовал накоплению белка в растениях.

Благодарности

Выражаем благодарность за помощь в работе сотрудникам института паразитологии растений имени К.И. Скрябина, а также сотрудникам кафедры агрохимии и биохимии растений МГУ имени Ломоносова.

Литература

1. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Горовцов А.В., Гуминовые препараты и структурное состояние черноземных и каштановых почв Ростовской области, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, 2020. – 189 с.
2. Дякунчак С.А., Лазько В.Э. Болезни и вредители чеснока на Кубани и создание устойчивых к ним сортов // Рисоводство - 2020 - № 1 (46) - С. 90-93.
3. Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. – Математическая статистика в почвоведении: Практикум. - М.: МАКС Пресс, 2008. - 84 с.
4. Дурынина Е.П., Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений.- М.:МГУ, 1998, 113 с.
5. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии – Изд. МГУ, 2001. – 688 с.
1. Нематофагин-микопро [электронный ресурс]: нематофагинHYPERLINK "https://mycopro.ru/index.php/nematofagin-main" (mycopro.ru) 2022 - дата обращения 08.10.2022.
6. Осолодкова Е.В. Биологические расы нематод – *Ditylenchus dipsaci* // Академическая публицистика № 3 – 2021 – с. 38-40.

7. Поволоцкая Ю.С. Адаптогенные свойства гуминовых препаратов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук №3 – 1 – 2019 – с. 128-130.
8. Справочник [электронный ресурс]: пестициды.ru - дата обращения 20.02.2023.
9. Шестеперов А.А., Бутенко К.О., Е.А. Колесова Е.Ф., Дителенхозы сельскохозяйственных и декоративных растений и меры борьбы с ними: учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2014. – 178 с.
10. de Melob. A. G., Mottaf. L. M., Santana H. A. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments // Materials science and engineering: с – 2016.– V. 62. – P. 967–974.
11. Fresenius M.S., Soliman, El-Deriny M.M., Ibrahim D.S.S., Zakaria H., Ahmed Y. Suppression of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants using the nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* //Journal of Applied Microbiology -2021- V.131.- P. 2402-2415.

**Влияние действия и последствий
микроудобрений на содержание Cu, Zn, Mn
в растениях овсяницы красной (*Festuca rubra* L.)
Нечаев Н.М.¹, Егоров В.С.²**

*Московский государственный университет, г. Москва
¹nechaev1507@mail.ru, ² - levs_msu@mail.ru*

Газонные травы играют важную экологическую роль и в настоящее время являются важным инструментом при озеленении больших территорий в постоянно расширяющихся городских массивах. Используемые при закладке газона грунты, состоящие на 70% из торфа, обеднены микроэлементами.

При выращивании газонных трав на торфяных грунтах растения страдают от недостатка микроэлементов [1]. Это позволяет полагать, что применение микроудобрений способно оказать существенное влияние на продуктивность и качество биомассы газонных трав. Совместное применение минеральных удобрений и микроэлементов способно максимизировать эффективность.

Поэтому важно изучить влияние действия и последствий внесения микроэлементов на формирование травяного покрова, его качество и устойчивость в условиях мегаполиса. В литературе такие данные практически отсутствуют. Не установлено оптимальное содержание микроэлементов в газонных травах, не изучено влияние микроэлементов на основные показатели качества газонных трав, что затрудняет диагностику их питания.

Цель работы: изучить влияние действия и последствий меди, цинка и марганца на продуктивность и микроэлементный состав овсяницы красной (*Festuca rubra* L.)

Объекты и методы исследования

Работа проводилась на базе ф-та Почвоведения МГУ в условиях вегетационного опыта, заложенного в 2019 г. Использовались сосуды на 5 кг почвы. В каждый сосуд на высоту 10 см набивали почву, а затем грунт слоем 10 см, создавали систему конструктозем по аналогии с производственными условиями. Для создания органогенного горизонта конструктозема был использован грунт, состав которого включал 30% очищенного песка и 70% низинного торфа. Исследуемая газонная трава – овсяница красная (*Festuca rubra*). Посев из расчёта 20 г/м².

Схема опыта включала 10 вариантов: 1. Контроль, 2. Cu, 3. Zn, 4. Mn, 5. Cu+Zn+Mn, 6. NPK, 7. NPK+Cu, 8. NPK+Zn, 9. NPK+Mn, 10. NPK+Cu+Zn+Mn.

Удобрения – нитроаммофоска марки 16:16:16 внесена из расчёта 0,1 г д.в. на кг грунта. Микроэлементы вносили в виде растворов сернокислых солей $\text{CuSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$, ZnSO_4 , $\text{MnSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$ из расчёта 25 мг/кг грунта. В 2020 и 2021 гг удобрения, согласно схеме, не вносили. В 2021 году в начале вегетации после уравнивающей срезки на все варианты опыта внесли аммиачную селитру в дозе, соответствующей 60 кг/га.

Учёт биомассы овсяницы производили каждые 20 дней. Ежегодно проводилось по 4 срезки.

Агрохимический анализ грунта и растительных образцов проводили общепринятыми методами [2].

Содержание Cu, Zn, Mn в грунте и растениях определяли методом масс-спектрометрии на приборе ICP MS.

Обсуждение результатов

Обеспеченность растений макро- и микроэлементами напрямую зависит от реакции среды почвенного субстрата. Оптимальное значение кислотности для большинства видов газонных трав составляет 6,0 - 6,5 pH, максимальное колебание (5,5 - 7,5).

Использованный грунт имел нейтральную реакцию среды (табл. 1). Применение NPK и микроэлементов не оказало существенного влияния на величину актуальной кислотности в год прямого действия и последствия минеральных и микроудобрений.

Применение минеральных удобрений (табл. 1) способствовало существенному повышению содержания фосфора и калия в грунте по сравнению с контрольным вариантом в год прямого действия удобрений и сохранялось на второй год их последствий.

Данные по содержанию Cu, Zn и Mn в кислоторастворимой и подвижной (ААБ-pH4,8) формах свидетельствуют о том, что внесённые в 2019 году микроудобрения на второй год последствий обеспечивают достоверно более высокое их содержание в грунте по сравнению с контролем.

Применение микроудобрений отдельно и на фоне минерального удобрения при прямом действии оказало положительное влияние на суммарную (за 4 срезки) биомассу растений овсяницы красной (рис. 1). Вес сухой биомассы достоверно увеличился относительно контрольного варианта при использовании цинка и марганца в 1,7 раза, а суммы трех микроэлементов в 1,9 раза.

1. Агрохимическая характеристика грунта.

Вариант	2019			2021								
	pH вод	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH вод	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu(мг/кг)		Zn(мг/кг)		Mn(мг/кг)	
		Мг/100г			Мг, 100г	HCl	ААБ	HCl	ААБ	HCl	ААБ	
Контроль	7,40	77,2	18,00	6,85	58,31	15,35	0,19	0,07	3,72	1,61	29,89	6,16
Cu	7,70	101,0	15,00	7,15	62,14	14,85	1,29	0,38	4,93	2,10	32,36	8,35
Zn	7,70	93,8	18,00	7,15	58,14	16,85	0,22	0,10	10,27	4,87	26,20	7,76
Mn	7,60	91,6	20,00	7,05	64,15	18,35	0,23	0,08	4,47	1,45	50,18	13,81
Cu+Zn+Mn	7,60	70,9	16,00	7,05	59,17	17,35	1,34	0,41	9,82	5,53	51,41	12,69
NPK	7,60	105,3	21,50	7,05	79,40	20,60	0,20	0,07	4,64	1,88	30,24	5,15
NPK+Cu	7,70	109,9	22,00	7,15	87,81	20,85	1,31	0,55	4,46	2,08	30,95	6,92
NPK+Zn	7,60	102,3	18,50	7,05	68,86	17,60	0,26	0,05	11,07	5,67	27,62	6,32
NPK+Mn	7,60	105,5	33,50	7,05	71,36	20,10	0,19	0,08	4,98	1,51	47,16	11,70
NPK+Cu+Zn +Mn	7,50	100,5	19,00	6,95	77,03	18,85	1,36	0,27	11,39	6,81	56,47	14,07
HCP _{0,95}	Fфакт < Fтеор	4,00	2,60	Fфакт < Fтеор	8,80	2,05	0,49	0,16	2,74	1,80	9,93	2,93

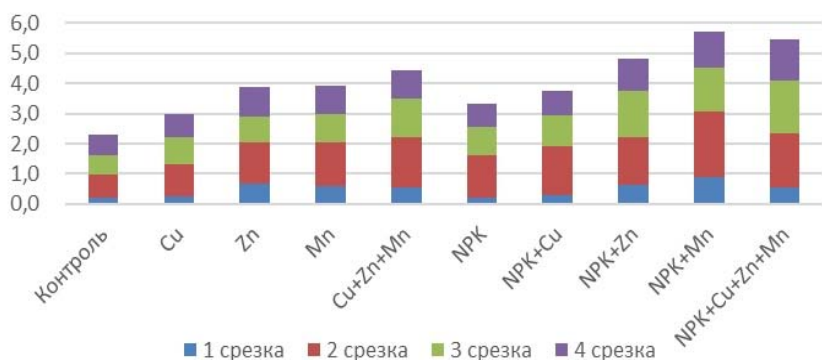


Рисунок 1. Суммарная биомасса овсяницы красной (*festuca rubra L.*) (сухой вес, г/срез) - 2019 год

Положительное влияние внесенных микроэлементов (Cu, Zn и Mn) на суммарную биомассу растений овсяницы красной сохранялось и в последствии (рис. 2). Наименьшая прибавка биомассы растений к контролю отмечена в вариантах NPK+Zn и NPK+Mn и составила 22 и 27% соответственно. Максимальную продуктивность овсяницы красной обеспечили варианты: Cu – 50%, Zn – 52%, NPK + Cu – 64% и NPK + Cu + Zn + Mn – 64%.

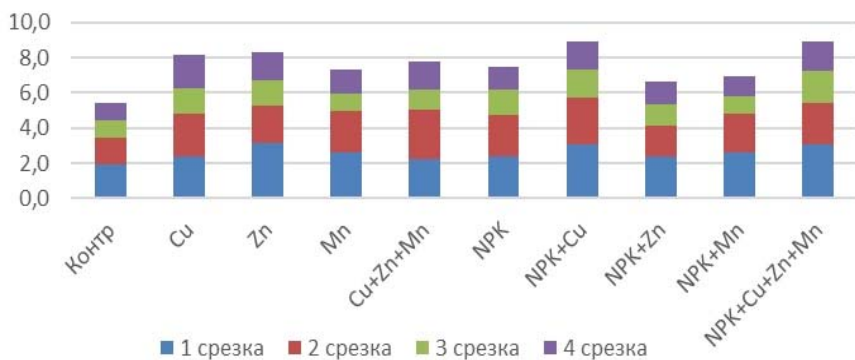


Рисунок 2. Суммарная биомасса овсяницы красной (*festuca rubra L.*) (сухой вес, г/срезка) - 2021 год

Это может быть связано с более высоким содержанием исследуемых микроэлементов в грунте перечисленных вариантов.

Анализируя среднее содержание каждого элемента по четырем срезкам, было установлено следующее. Содержание меди, как в год прямого действия микроэлементов, так и на второй год их последствия, достоверно увеличилось по сравнению с контролем в вариантах с внесением меди и всех трех микроэлементов, а также на аналогичных вариантах на фоне NPK (табл. 2).

На этих же вариантах отмечено достоверное увеличение выноса данного элемента по сравнению с контролем: Cu+Zn+Mn – 116%, NPK+Cu – 115%, и NPK+Cu+Zn+Mn – 215% при прямом действии и на вариантах: Cu – 142%, Cu+Zn+Mn (113%), NPK+Cu (145%) и NPK+Cu+Zn+Mn (130%) при последствии (табл. 2). Это можно связать с более высоким содержанием Cu в грунте на данных вариантах (табл. 1).

Аналогичные закономерности отмечены и при анализе данных по цинку. Существенное изменение содержания цинка было определено в вариантах прямого действия цинка (29%) и суммы трех микроэлементов (24%), а также при внесении NPK с теми же микроэлементами – 37% и 29% соответственно (табл. 2).

В 2021 г. достоверное изменение содержания цинка отмечено в вариантах с последствием цинка (10%) и последствием всех трех микроэлементов (11%), а также на аналогичных вариантах на фоне последствия NPK (10% и 12% соответственно). Для этих вариантов было характерно и существенное по сравнению с контролем увеличение выноса цинка, как при прямом его действии, так и при последствии (табл. 2).

2. Содержание в растениях (среднее за 4 срезки) и вынос биомассой овсяницы красной (сумма за 4 срезки) меди, цинка и марганца.

Элемент	МЕДЬ				ЦИНК				МАРГАНЕЦ			
	2019		2021		2019		2021		2019		2021	
Вариант	мг/кг	мг на сосуд	мг/кг	мг на сосуд	мг/кг	мг на сосуд	мг/кг	мг на сосуд	мг/кг	мг на сосуд	мг/кг	мг на сосуд
Контроль	8,9	0,02	3,3	0,03	34,0	0,07	56,8	0,32	43,4	0,12	44,5	0,25
Cu	11,9	0,04	5,3	0,04	39,9	0,12	59,8	0,50	37,3	0,10	34,0	0,29
Zn	9,4	0,04	3,4	0,03	43,9	0,17	62,6	0,53	36,9	0,14	28,0	0,24
Mn	7,9	0,03	3,3	0,02	38,0	0,15	61,0	0,47	41,8	0,16	52,5	0,41
Cu+Zn+Mn	10,3	0,05	4,9	0,04	42,2	0,19	63,4	0,51	40,6	0,17	37,8	0,31
NPK	8,6	0,03	3,9	0,03	41,2	0,13	58,5	0,45	51,0	0,15	45,2	0,35
NPK+Cu	11,8	0,05	4,9	0,04	37,5	0,15	57,5	0,55	44,9	0,16	38,6	0,36
NPK+Zn	8,4	0,04	3,5	0,02	46,5	0,22	62,8	0,43	37,1	0,17	27,7	0,19
NPK+Mn	8,0	0,05	3,4	0,02	38,8	0,23	54,8	0,42	41,4	0,23	39,0	0,29
NPK+Cu+Zn+Mn	11,9	0,07	4,5	0,04	43,9	0,23	67,8	0,59	36,1	0,18	47,5	0,44
НСП _{0,95}	1,4	0,02	0,7	0,02	6,8	0,02	2,7	0,02	3,4	0,05	6,98	0,07

В вариантах с большим содержанием Zn в грунте вынос этого МЭ был существенно выше. По сравнению с 2019 г наибольший вынос Zn был в вариантах Zn, Cu+Zn+Mn и NPK+Cu+Zn+Mn. Что может быть обусловлено лучшим развитием корневой системы овсяницы на третий год роста по сравнению с первым годом.

В 2019 году содержание Mn в растениях было на уровне контроля или достоверно ниже. При последствии отмеченные тенденции сохранились. Существенное снижение относительно контроля было установлено в большинстве вариантов опыта, кроме варианта NPK и вариантов с последствием данного МЭ.

Данные по выносу исследуемых микроэлементов (табл. 2) свидетельствуют о том, что снижение содержания марганца в растениях овсяницы было обусловлено явлением «ростового разбавления». Т.е. концентрация элемента в растениях снижалась в соответствие с увеличением биомассы, а его вынос был либо на уровне контроля, либо существенно выше.

Достоверная разница в выносе марганца по сравнению с контролем при прямом действии была установлена в варианте суммарного

использования трех микроэлементов (43%) (табл. 2). Отдельное использование марганецсодержащих удобрений существенной разницы в сравнении с контрольным вариантом не показало. При внесении NPK в сумме со всеми микроэлементами достоверная разница составила 56%. Данные по максимальному выносу марганца были получены при сочетании этого микроэлемента с NPK (94%).

Последствие Mn показало существенную прибавку выноса (61%) в сравнении с контролем (табл. 2). Данные по максимальному выносу марганца были получены при сочетании Cu + Zn + Mn с NPK (+73%). Также стоит отметить вариант с последствием NPK, который достоверно повлиял на вынос марганца и повысил его на 39%. По сравнению с 2019 годом видна четкая закономерность увеличения выноса Mn с его большим содержанием в грунте в вариантах Mn и NPK + Cu + Zn + Mn.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение микроудобрений в дозе 25 мг на кг грунта совместно с минеральным удобрением, привело к получению наибольшего количества биомассы овсяницы. Этот показатель повысился не только по сравнению с контролем, но и относительно соответствующих вариантов с микроэлементами без внесения удобрений как в прямом действии, так и последствии. Максимальная продуктивность овсяницы в год прямого действия (2019) отмечена на вариантах: NPK+Mn, NPK+Zn, NPK+Cu+Zn+Mn при содержании в растениях цинка – 38,0 - 43,9 мг/кг, меди – 8,0 - 11,9 и марганца – 36,7 - 41,4мг/кг. На 2-й год последствия исследуемых микроэлементов наиболее продуктивными вариантами являются NPK+Cu и NPK+Cu+Zn+Mn при содержании в растениях меди – 4,5 - 4,9 мг/кг, цинка – 57,5 - 63,8 мг/кг и марганца – 38,6 - 47,6 мг/кг.

Литература

1. Шуршин К.А., Болышева Т.Н. Эффективность минеральных удобрений при выращивании газонных трав на осушенных верховых торфяниках // Проблемы агрохимии и экологии. – №3. – 2011. – С. 30-35.
2. Минеев В.Г. и др. Практикум по агрохимии, М., Изд-во МГУ, 2001, 689с.

Индивидуальная структура растений в фазу молочной спелости зерна ячменя при локальном внесении калийных удобрений

Павлов К.В., Лепихина А.А., Канаев В.В.

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
Москва, Россия*

Введение

На сегодняшний день имеются сведения о том, что локальное применение калийных удобрений оказывает положительное влияние на развитие генеративной части растений за счет сокращения роста вегетативной [1, 2]. Как известно, калий влияет на развитие структуры биомассы растений, стимулируя активный транспорт ассимилянтов из вегетативных органов растений в генеративные [3]. В соответствии с этим важно определить, на какой именно побег и структурную часть растения сильнее оказывает влияние локальное применение калийных удобрений.

Цель работы – подробное изучение структуры биомассы растений ярового ячменя при локальном внесении калийных удобрений на черноземе.

Объекты и методы

Почва – верхняя часть гумусоаккумулятивного горизонта целинного чернозема типичного, отобранного из старовозрастной лесополосы Каменной Степи, длительное время не находившейся в сельскохозяйственном использовании. Почва характеризовалась высоким содержанием гумуса (8,1%), нейтральной реакции среды (pH_{KCl} 6,4). По содержанию подвижных форм (метод Чирикова) почва относилась к группе с повышенной обеспеченностью калием – 26,8 мг/100 г, ближе к среднему по содержанию подвижного фосфора – 11 мг/100 г.

Время проведения вегетационного опыта: май - август 2012 год, июнь - сентябрь 2013 года. Эксперимент включает в себя 2 варианта внесения удобрений: фон, где равномерно вносились азотно-фосфорные удобрения (далее – NP) и фон с локальным применением калийных удобрений (далее – NPK). В проведенном модельном опыте использовались сосуды объемом 2 л и высотой 15 см, массой почвы

1,8 кг. В почву был равномерно внесен раствор аммиачной селитры и гранулированного двойного суперфосфата – вариант NP. В варианте NPK на фоне азотно-фосфорных удобрений на глубину 5 см равномерно по поверхности почвы вносили калийные удобрения в виде раствора калия хлористого. В 2012 год опыт был заложен в четырехкратной повторности на варианте NP и трехкратной на варианте NPK, в 2013 году опыт включал пять повторностей. В каждом исследуемом году анализировалась свежая и сухая растительная биомасса.

Доза всех удобрений – 0,1 г/кг. Посев семян ячменя производили на глубину 3 см по 10 шт. в каждый сосуд, в результате прореживания было оставлено по 6 растений для обеспечения равномерности их размещения в сосуде. Особенностью исследования являлся учет биомассы каждого индивидуального растения, в отличие от традиционной схемы учета биомассы в среднем на сосуд. Учет биомассы производился в фазу начала молочной спелости по следующим показателям: масса колоса; масса листьев: 1-2, 3, 4 и 5 лист; масса стебля; биомасса первичного побега; биомасса вторичных побегов; общая биомасса продуктивных побегов; непродуктивная биомасса; общая биомасса. Общая структура биомассы ячменя представлена в таблице 1.

1. Структура биомассы ячменя

Продуктивная биомасса		Непродуктивная биомасса	Общая биомасса
Первичных побегов	Вторичных побегов		
Колос	Колос	Вторичных побегов	
Вегетативная часть	Вегетативная часть	Побегов 3-4 степени	

Растительные образцы, отобранные в 2012 и 2013 гг были гербаризированы. Разбор биомассы и анализ полученных данных производился постепенно в течение последующих 10 лет. Статистическая оценка различий между экспериментальными данными осуществлялась по критерию Фишера (F-критерий) с заданным уровнем значимости 0,05, и р-значению с уровнем значимости 0,10, используя программу STATISTICA 12.

Результаты и обсуждение

После представления данных в пересчете на одно растение возникли проблемы, связанные с высоким разбросом данных, делающие не значимым большинство различий между вариантами

исследования. По этой причине было принято решение сгруппировать растения. Группировка должна была учесть индивидуальное развитие каждого отдельного растения в сосуде. И как показало дальнейшее исследование, каждое из них развивалось по определенному принципу, набирая существенно различную друг от друга биомассу и структурные отдельности (колос, листья, побеги).

Группировка проводилась посредством объединения растений по группировочным признакам. То есть анализ структуры растений велся в рамках каждой группы. По технике выполнения представленная группировка была произведена методом ручной сводки (подбора), при котором все операции (определение количества групп, распределение растений по группам и расчет общих итогов) осуществлялись вручную.

Нами были предложены следующие группы: А, В, С, D, которые имели следующие признаки:

Растения со структурой А. Опережающая группа с хорошо развитым первичным побегом, формирующим выполненное зерно.

Растения со структурой С. Угнетенная группа с отстающей общей биомассой и слабым первичным побегом.

Растения со структурой В. Средняя группа, не имеющая явных признаков групп А и С.

Растения со структурой D. Жирующая группа с высокой общей биомассой и высокой долей в ней вегетативной части.

По схожим признакам были выделены две доминирующие и две минорные группы. В последнюю входили резко выделяющиеся относительно других группы С и D, соответственно, с очень низкой и высокой биомассой при сильном развитии вегетативной части и две доминирующие группы А и В с близкой общей биомассой, но разной степенью развития первичного побега.

Результаты проведения группировки можно оценить по количеству растений каждой отдельной группы в сосуде. Данные по годам были усреднены, с целью продемонстрировать, что на доминирующие группы А и В приходится около 80% растений в сосуде, а на минорные группы – около 20%.

Количество растений в группах по 2012 году в варианте NP составляло: А – 10, В – 8, С – 3, D – 3; в варианте NPK: А – 6, В – 8, С – 2, D – 2. Количество растений в группах по 2013 году в варианте NP составляло: А – 10, В – 15, С – 3, D – 2; в варианте NPK: А – 15, В – 10, С – 2, D – 3.

Были выделены показатели, наиболее существенно отражающие особенности той или иной группы (мг/растение): - колос первичного

побега; - вегетативная биомасса первичного побега; - стебель; - 3 и 4 лист; - биомасса первичного побега; - общая биомасса растения; - % непродуктивной биомассы; - % первичного побега в общей биомассе; - % колоса в общей биомассе первичного побега; - % сухого вещества колоса; - % зерна в колосе; - зерно, шт; - зерно, мг/растение; - масса 1000 зерен.

Растения группы D выделялись по следующим показателям свежей биомассы: - общая биомасса растения в среднем около 8 г/раст; - процент непродуктивной биомассы около 50%.

Растения группы С выделялись по следующим показателям (г/раст): - общая биомасса растения не более 3; - биомасса первичного побега около 2,4; - масса колоса первичного побега около 0,5.

Можно отметить, что на растения группы D за два года исследования калийные удобрения повлияли положительно, увеличив массу 1000 зерен и массу колоса первичного побега практически в 2 раза (табл. 2). Также и зерна варианта NPK отличались по качеству, о чем говорит показатель % сухого вещества увеличенный на 39% по сравнению с фоновым вариантом.

*2. Анализ структуры биомассы растений группы D
(объединенная выборка 2012-2013 гг).*

Показатели	Варианты		Р-значение
	NP	NPK	
Масса 1000 зерен	11	20	0,05
Зерно, мг/раст	156	357	0,05
% Сухого вещества колоса	22	36	0,06
Колос первичного побега, мг/раст	792	1506	0,08

Таким образом, применение калийных удобрений улучшило развитие генеративной части первичного побега растений группы D.

Для того, чтобы определить растения в группу А или В, были добавлены визуальные признаки, которые улучшили качество группировки: - цвет цветковой чешуи; - наличие пыльников тычинок/рыльце пестика.

Показатели биомассы первичного побега показывают различие между группами А и В, где видно, что растения группы А по сравнению с группой В отличаются опережающим развитием. А именно растения группы А в 2012 году отличались более высокой долей первичного побега в общей растительной биомассе (73 против 69%), который в свою очередь смог сформировать в сравнении с растениями группы В более мощный по массе колос (242 против

154 мг/раст), а также более высокий показатель качества зерна, который описывается массой 1000 зерен (15 против 10).

В 2013 году наблюдается похожая ситуация: наличие высокой доли колоса в отношении биомассы первичного побега (46 против 44 %) с превышающим процентом сформировавшихся зерен в колосе (78 против 69%) и высоким показателем массы зерна (491 против 302 мг/раст) и массы 1000 зерен (27 против 17).

Исходя из выделенных визуальных особенностей развития растений, было определено, что растения группы А не только имеют более высокие показатели биомассы, но также относятся к более поздней стадии развития – к фазе молочной спелости, а растения группы В – к фазе цветения-начала молочной спелости.

У растений группы А действие калия пришлось на увеличение генеративной части за счет уменьшения роста вегетативной – стебля и листьев (табл. 3).

Зерен на варианте с внесением калийных удобрений сформировалось меньше, тем самым это позволило им более быстрее созреть, о чем говорит значимый показатель количества зерна и массы 1000 зерен, являющийся прямым критерием качества зерна.

3. Особенности действия калийных удобрений на развитие биомассы отдельных частей первичного побега растений группы А, 2012 г.

Вариант	Стебель, мг/раст	3 лист, мг/раст	Масса 1000зерен	Зерно, шт
NP	714	94	13	18
NPK	638	63	16	16
P-значение	0,07	0,03	0,01	0,04

При более подробном рассмотрении структурных частей первичного побега, были выделены дополнительные особенности действия калийных удобрений (табл. 4).

4. Особенности действия калийных удобрений на развитие биомассы отдельных частей первичного побега растений группы А, 2013 г.

Вариант	% Колоса в общей биомассе первичного побега	Вегетативная биомасса первичного побега, мг/раст	4 лист, мг/раст	Стебель, мг/раст
NP	48	1874	214	1396
NPK	43	2155	293	1605
P-значение	0,07	0,12	0,07	0,09

В более благоприятном по погодным условиям 2013 году в растениях группы А под действием калийных удобрений произошло увеличение вегетативных частей первичного побега: 4 листа на 27%, стебля и общей вегетативной биомассы первичного побега на 13%. Предположительно этому послужил более длительный период вегетации, в результате чего можно полагать, что накопленные в вегетативной части ассимилянты в более позднюю фазу развития будут транспортированы в генеративную часть растения.

Таким образом, предложенная группировка позволила выделить особенности действия калийных удобрений, внесенных по фону азотно-фосфорных удобрений. В среднем за два года исследований калийные удобрения сильнее повлияли на развитие растений из групп А и D, увеличивая биомассу частей первичного побега.

Заключение

В условиях вегетационного опыта с применением удобрений на черноземе на основе анализа структуры биомассы ячменя в фазу начала молочной спелости зерна, впервые, было проведено разделение растений на четыре группы по степени развития их генеративной части. Выделены две минорные группы: С и D, соответственно, с очень низкой и высокой биомассой при сильном развитии вегетативной части и две доминирующие группы с близкой общей биомассой: А и В. Группу А по сравнению с группой В образуют растения опережающего развития, с максимальной долей наиболее выполненного зерна, сформированного первичным побегом. Предложенная группировка позволила выделить особенности действия локального способа применения калийных удобрений, внесенных по фону азотно-фосфорных удобрений. В среднем за два года калийные удобрения сильнее влияли на развитие растений из групп А и D, увеличивая биомассу отдельных частей первичного побега.

Специфичность действия калийных удобрений внутри каждой группы указывает на независимость и обоснованность выделения каждой группы и позволяет сформулировать предварительные выводы. Несомненно, эти результаты нуждаются в дальнейшем подтверждении и служат отправной точкой для планирования нового эксперимента, который может повысить их достоверность и достигнуть первоначальную цель исследования по оценке влияния калийных удобрений на структуру биомассы ячменя.

Литература

1. Павлов К.В. Локализация калийных удобрений в почве как регулятор динамики минерального питания растений // В сборнике: Агрохимия в 21 веке. Под ред. В.А. Романенкова. 2018. С. 215-217.
2. Pavlov K., Voronina L. Potassium placement effect on dynamics of barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrition // Soil Science and Plant Nutrition. 2016. Т.62. № 5-6. С. 500-503.
3. Минеев В.Г., 2004. Агрохимия. 2-е изд. М.: Издательство Московского университета, Издательство «КолосС». 715 с.

Применение лигногумата в агротехнологии возделывания черной смородины

Почтенная А.И., Пашкевич Е.Б.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, Россия
e-mail: aalena-1111@yandex.ru*

Аннотация. *Отсутствие внимания к агрохимическому составу почвы приводит к почвенному истощению и, как следствие, к недобору урожая и экономическим потерям хозяйства. Для восполнения вынесенных элементов из почвы используются такие методы интенсификации сельского хозяйства как применение новых видов стимуляторов, которые повышают стрессоустойчивость культур и урожайность, что приводит к повышению маржинальности хозяйства и экологической стабильности. В данной работе изучено влияние листовой обработки черной смородины препаратом отечественного производства Лигногумат АМ в сочетании с традиционными удобрениями на агрохимические свойства почвогрунта, а также макро-, мезо- и микро-элементный (B, Cu, Zn, Pb, Cd) состав листьев смородины.*

Ключевые слова: *лигногумат, гуминовые удобрения, черная смородина, ягодные культуры, макроэлементы в листьях, микроэлементы в листьях, содержание бора в листьях.*

Лигногумат – это новый высокоэффективный технологичный препарат, созданный путем ускоренной гумификации растительного сырья. Получают его термической переработкой из лигнин-содержащего сырья [14]. Химические изменения, происходящие при трансформации его из лигносульфоната, аналогичны гумификации растительного опада в природе. Продукт характеризуется более низким содержанием азота и более высоким содержанием сульфокислотных групп по сравнению с гуминовыми веществами (например, которые выделены из торфа или почв) [9]. В настоящее время он используется в сельскохозяйственных и садоводческих целях [7, 8]. Лигногумат признан стимулятором роста растений, т.к. стимулирует рост побегов, активизацию ферментов, благоприятствует повышению интенсивности фотосинтеза. Выявлено, что его применение при фолиарной обработке позволяет уменьшить вымывание азота в почвенный раствор, уменьшить токсическое действие при обработке пестицидами,

улучшить азотный баланс почв, повысить базальное дыхание почвы, стимулирует биологическую активность почвы (увеличение численности микроорганизмов, их ферментативной активности, скорости выделения углекислого газа и процессов трансформации азота), а также входящий в его состав прилипатель предотвращает быстрый смыв питательных веществ с поверхности при осадках. [5, 6, 10, 11, 13].

Рекомендованная оптимальная доза лигногумата в настоящий момент еще не определена. Важен ее подбор для повышения продуктивности культур и качества продукции, а также это позволяет увеличить стрессоустойчивость к неблагоприятным факторам среды в условиях зоны рискованного земледелия. В большом диапазоне концентраций лигногуматы могут оказывать как стимулирующее, так и угнетающее действие на бактерии, грибы и других почвенных микроорганизмов. Например, в исследовании [4] производили опрыскивание 0,05% раствором Лигногумата.

Большой интерес представляет оценка эффективности применения лигногуматов на почвах интенсивного сельскохозяйственного использования с добавлением агрохимикатов (удобрений, пестицидов).

Объекты и методы

Опыт был заложен в июне 2022 года на опытном участке Почвенного стационара МГУ имени М.В. Ломоносова. Объектами исследований были одногодичные саженцы черной смородины (*Ribes nigrum* L.), почво-грунт, состоящий из торфа, песка, суглинка и плодородного грунта, с содержанием $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -7,5, NO_3^- - 15,7 мг/кг почвы, NH_4^+ - 46,0 мг/кг почвы, подвижного фосфора (P_2O_5) – 542,0 мг/кг почвы, обменного калия (K_2O) – 300,0 мг/кг почвы, обменного кальция – 1822,7 мг/кг почвы, обменного магния – 1271,7 мг/кг почвы, подвижного цинка (Zn) – 37,3 мг/кг почвы, подвижной меди (Cu) – 10,7 мг/кг почвы, подвижного свинца (Pb) – 17,1 мг/кг, подвижного кадмия (Cd) – 0,2 мг/кг, подвижного бора – 1,1 мг/кг. В качестве удобрений - аммиачная селитра, двойной суперфосфат и хлористый калий, а также Лигногумат® (ЛГ) производства РЭТ НПО (Санкт-Петербург, Россия). В составе Лигногумата марки АМ элементы распределены в следующем количестве: Сорг – 35,5%; N – 26,3%; P_2O_5 – 0,05%; K_2O – 8,9%, pH лигногумата – 9,69. Фенольный индекс (мг/кг) – 0,7. Опрыскивание проводили до полного смачивания листа через каждые 10 дней, всего было 5 обработок.

Для закладки полевого опыта 20-ти сантиметровый слой почвы замещался почвогрунтом. Площадь опытных делянок составила 1 м².

Повторность – 3, в каждой повторности 5 растений. Удобрения вносили в грунт заделкой на глубину 10-15 см перед посадкой саженцев смородины. Схема проведения опыта включала следующие варианты опыта: (1) Контроль (почвогрунт без удобрений и без опрыскивания); (2) ЛГ (почвогрунт без удобрений + опрыскивание 0,05% раствором лигногумата); (3) NPK + ЛГ (почвогрунт + удобрения - 17,4 г/м² аммиачной селитры (вносили в почву из расчета 60 кг N/га), 18 г/м² двойного суперфосфата (60 кг P₂O₅/га) и 15 г/м² хлористый калий (90 кг K₂O/га) + опрыскивание 0,05% раствором лигногумата); (4) NPK (почвогрунт + удобрения в той же дозе без опрыскивания).

Почву для агрохимических анализов отбирали из 10 сантиметрового слоя и делали смешанный образец на каждом варианте. Образцы (листья и образцы грунта) были отобраны в конце августа и высушены на воздухе.

Агрохимические показатели плодородия почвы определяли по следующим методикам: pH определяли ионометрически в водной вытяжке, обменный аммоний – фотометрически, нитраты по Грандваль-Ляжу – фотометрически, подвижный фосфор и обменный калий из вытяжки по Кирсанову (P₂O₅ – фотометрически с окрашиванием по Дениже, K₂O – на пламенном фотометре). Определение содержания в почве подвижных форм цинка, меди, свинца и кадмия было проведено методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе ААС-3 фирмы "Hitachi" (Япония) в ААМ вытяжке, подвижный бор – фотометрически с кармином. В листьях черной смородины определяли содержание макроэлементов после мокрого озоления по Гинзбург в конц. серной кислоте с добавлением конц. хлорной кислоты в качестве катализатора: азота – методом Кьельдаля, фосфора – фотометрически с окрашиванием по Дениже (фотометр КФК-3-01 «ЗОМЗ», Россия), калия – на пламенном фотометре «LEKI FP640», микроэлементов цинка, меди, свинца и кадмия – после сухого озоления атомно-абсорбционным методом на приборе ААС-3 в ААМ вытяжке. Бор определяли после сухого озоления в кварцевых чашках и растворения золы в 10% HCl – колориметрически с кармином. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Результаты первого года исследований лигногумата и удобрений на черной смородине показали значимое увеличение всех важных агрохимических показателей почвогрунта (pH, NH₄⁺, P₂O₅, K₂O) на всех вариантах, кроме контроля (табл. 1).

1. Содержание макроэлементов в почвогрунте

Вариант	рН водный	NO $\square$ ⁻	NH $\square$ ⁺	P $_2$ O $_5$	K $_2$ O
		мг/кг			
Контроль	7,4 $\pm$ 0,05	7,1 $\pm$ 0,81	9,2 $\pm$ 0,89	507,0 $\pm$ 6,76	300,0 $\pm$ 6,53
ЛГ	7,5 $\pm$ 0,01	5,9 $\pm$ 1,79	18,8 $\pm$ 0,30	639,5 $\pm$ 8,79	272,3 $\pm$ 6,53
NPK + ЛГ	7,6 $\pm$ 0,02	20,4 $\pm$ 3,91	12,1 $\pm$ 0,30	591,2 $\pm$ 5,41	346,2 $\pm$ 6,53
NPK	7,5 $\pm$ 0,01	33,4 $\pm$ 0,13	23,2 $\pm$ 1,77	610,3 $\pm$ 6,76	349,3 $\pm$ 0,00

Содержание нитратов оказалось снижено относительно Контроля в варианте ЛГ, а при применении удобрений оно возросло в 2,9 и 4,8 раз в вариантах NPK + ЛГ и NPK соответственно. Вариант NPK содержал наиболее высокую концентрацию аммонийного азота, а содержание подвижного фосфора было наибольшее на варианте ЛГ. Обменный калий также как и нитратный азот был снижен на варианте ЛГ. При сравнении начальных параметров почвы обнаружено, что только применение удобрений с/без обработкой лигногуматом способствует восполнению выноса нитратного азота и обменного калия.

Содержание обменного кальция резко снизилось на вариантах NPK и NPK + ЛГ по сравнению с контролем, а на варианте ЛГ – возросло на 8,1% (табл. 2). Концентрация подвижного цинка снизилась на всех вариантах относительно контроля, подвижной меди - значимо возросла только на вариантах с применением лигногумата, подвижного свинца – увеличилась на всех вариантах, кроме контроля, подвижного кадмия – уменьшилась только на варианте NPK на 0,1 мг/кг почвы. Также стоит заметить, что применение лигногумата не приводило к сильному выноса меди на варианте ЛГ по сравнению с почвогрунтом до закладки опыта.

2. Содержание мезо- и микроэлементов в почвогрунте, мг/кг

Вариант	CaO	Zn	Cu	Pb	Cd
Контроль	1612,1 $\pm$ 11,96	33,5 $\pm$ 0,71	7,8 $\pm$ 0,42	12,7 $\pm$ 0,92	0,2 $\pm$ 0,02
ЛГ	1742,8 $\pm$ 58,49	30,0 $\pm$ 0,00	15,7 $\pm$ 2,09	17,0 $\pm$ 0,71	0,2 $\pm$ 0,01
NPK + ЛГ	1593,3 $\pm$ 6,65	30,0 $\pm$ 0,71	8,9 $\pm$ 0,57	14,3 $\pm$ 0,95	0,2 $\pm$ 0,02
NPK	1588,6 $\pm$ 146,23	31,0 $\pm$ 0,00	8,8 $\pm$ 0,74	15,5 $\pm$ 2,74	0,1 $\pm$ 0,02

Агрохимические показатели листьев черной смородины на вариантах ЛГ, NPK + ЛГ и NPK были значимо выше относительно контрольного варианта для общего азота, цинка и меди (табл. 3). Среднее содержание азота составила 2,2-2,4% на вариантах с удобре-

ниями и превысила контроль на 0,5%. Показатели содержания фосфора и калия в листьях на контрольном варианте были выше на контроле, чем на вариантах с удобрениями. Содержание кальция было одинаково на всех вариантах, кроме NPK, где он был выше на 0,1%. Концентрация бора была увеличена на варианте ЛГ, а на вариантах с применением удобрений снижена относительно контроля на 2,7 и 1,7 мг/кг на NPK + ЛГ и NPK соответственно. Статистически значимое высокое содержание цинка в листьях замечено на всех вариантах относительно контроля, содержание меди статистически значимо возросло только на варианте ЛГ.

3. Содержание макро-, мезо- и микроэлементов в листьях черной смородины

Показатель		Вариант			
		Контроль	ЛГ	NPK + ЛГ	NPK
N	%	1,7±0,01	2,2±0,01	2,4±0,02	2,2±0,05
P ₂ O ₅		0,9±0,01	1,2±0,13	0,6±0,06	0,5±0,05
K ₂ O		2,1±0,04	2,1±0,05	1,6±0,00	1,3±0,25
CaO		2,3±0,01	2,3±0,00	2,3±0,01	2,4±0,02
B	мг/кг	5,2±0,45	7,7±0,98	2,5±0,07	3,5±0,74
Zn		16,4±1,51	22,4±1,65	19,6±3,66	18,3±0,93
Cu		3,1±0,70	6,5±0,72	3,3±0,18	4,1±2,23
Pb		0,5±0,09	0,3±0,01	0,3±0,01	0,3±0,01
Cd		0,1±0,00	0,1±0,00	0,1±0,00	0,1±0,00

Анализ подвижных форм тяжелых металлов (с экстракцией ААМ вытяжкой, pH 4,8) показал высокие концентрации тяжелых металлов, превышающие ПДК. В образцах почвогрунта отмечено превышение ПДК для подвижных форм свинца, которое в ряде достигало 17,0 мг/кг в варианте ЛГ (при ПДК свинца, равном 6,0 мг/кг). Во всех вариантах зафиксировано превышение ПДК подвижного цинка, концентрации которого варьировали от 30 до 33,5 мг/кг (при ПДК цинка, равном 23 мг/кг почвы) [2]. Однако в растениях большой концентрации их не отмечено (табл. 3).

Выводы

1. Применение препарата Лигногумат АМ не приводило к полному выносу азота, фосфора, калия и меди из почвогрунта. Вынос по цинку был отрицателен во всех вариантах опыта.

2. Применение Лигногумата АМ позволяет выращивать продукцию с оптимальным содержанием элементов при отсутствии внесения удобрений, и повысить содержание аммонийного азота, подвижного фосфора и меди в почвогрунте.

3. Фолиарная обработка Лигногуматом АМ не повышала содержание тяжёлых металлов в растениях (Zn, Pb), препятствуя избыточному поглощению их в растения, т.к. в грунте было обнаружено их содержание выше ПДК.

Работа выполнена в рамках темы НИР

«Разработка и оценка комплекса инновационных агрохимических средств, мелиорантов и регуляторов роста в условиях агро-техногенеза и городской среды» (ЦИТИС:121041300098-7).

Литература

1. Баканова Н. Г., Калабин Г. А., Подгорский В. В. Взаимосвязь молекулярного строения и ростстимулирующей активности гуминовых веществ из лигнина //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2012. – №. 2. – С. 13-18.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 19.01.2006 г. № 1.
3. Куликова Н.А., Перминова И.В., Лебедева Г.Ф. Связывание атразина гумусовыми кислотами некоторых почв //Почвоведение. – 2003. – №. 10. – С. 1207-1212.
4. Неганова Н.М., Полиенко Е.А., Безуглова О.С. Влияние лигногумата на плодородие чернозема обыкновенного карбонатного под различными культурами //Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования. – 2012. – С. 191-193.
5. Почтенная А.И., Пашкевич Е.Б. Влияние лигногумата на показатели почвенного плодородия и продуктивность растений //Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки. – 2022. – С. 437-441.
6. Степанов А. А., Якименко О.С., Госсе Д.Д., и др. Изучение эффективности гуминового удобрения ЭДАГУМ® СМ как стимулятора роста и мелиоранта в вегетационном и мелкоделяночном опытах с пшеницей //Агрохимия. – 2018. – №. 6. – С. 36-43.
7. Adani F., Genevini P., Zaccheo P. et al. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition //Journal of plant nutrition. – 1998. – Т. 21. – №. 3. – С. 561-575.

8. Ertani A., Francioso O., Tugnoli V. et al. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – T. 59. – №. 22. – C. 11940-11948.
9. Holub P., Klema K., Tumab I. et al. Application of organic carbon affects mineral nitrogen uptake by winter wheat and leaching in subsoil: Proximal sensing as a tool for agronomic practice //Science of the Total Environment. – 2020. – T. 717. – C. 137058.
10. I Ketut Suada, Anak Agung Ngurah Gede Suwastika, I Kadek Ngestika Pradnyana et al. Application of *Trichoderma* spp. and Lignohumate to suppress a pathogen of clubroot (*Plasmodiophora brassicae* WOR.) and promote plant growth of cabbage //Int J Biosci Biotechnol. – 2019. – T. 6. – C. 79-94.
11. Morard P., Eyheraguibel B., Morard M. et al. Direct effects of humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species //Journal of Plant Nutrition. – 2010. – T. 34. – №. 1. – C. 46-59.
12. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolob A. et al. Physiological effects of humic substances on higher plants //Soil Biology and Biochemistry. – 2002. – T. 34. – №. 11. – C. 1527-1536.
13. Novák F., Šestaubrová M., Hrabal R. Structural features of lignohumic acids //Journal of Molecular Structure. – 2015. – T. 1093. – C. 179-185.
14. Olk D. C., Dana L. Dinnes, J. et al. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges—a review //Journal of Soils and Sediments. – 2018. – T. 18. – №. 8. – C. 2881-2891.

Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с применением различных методических подходов (на примере Пензенской области)

Чекин М.Р., Макаров О.А., Поздняков Л.А.

*Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, mrchekin@soil.msu.ru*

Введение

Сегодня в России актуальна проблема использования с/х земель. В Пензенской области высока доля плодородных черноземов, земли региона подвержены влиянию овражной эрозии, дефляции и плоскостному смыву. Наблюдается сокращение с/х угодий и изменении стоимости почвенных экосистемных услуг, что в свою очередь может привести к ухудшению благополучия населения. Проведение эколого-экономической оценки деградации почв и земель в Пензенской области становится частью стратегического планирования развития региона. Комплексная оценка с применением различных подходов, в том числе методов определения состояния почвенного микробоценоза, может определить наиболее экологически и экономически выгодный тип землепользования.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись почвы и земли сельскохозяйственного назначения на трех административно-территориальных уровнях хозяйственного устройства Пензенской области (агрохозяйство – муниципальный район – область в целом). Полевые исследования проводились на территории агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское». Было отобрано 100 образцов почвы, по 50 в каждом агрохозяйстве, с глубины 0-0,2 м по регулярной сетке с площадью ячейки 20 га. Исследуемые показатели определялись по общепринятым методам: содержание подвижных форм фосфора и калия (ГОСТ 26204-91), pH (H₂O) (ГОСТ 26423-85), pH (KCl) (ГОСТ 26483-85), гумус по Тюрину в модификации Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Минеев и др., 2001), плотность по Н.А. Качинскому. Для определения микробиологической активности и численности микроорганизмов были выбраны две трансекты в обоих агрохозяйствах. Всего было проанализировано

25 объектов, представляющие собой образцы почвы чернозёма выщелоченного, различающиеся значениями содержания гумуса, обменного калия, подвижного фосфора, азота и кислотностью. В анализ образцов входило: определение базального дыхания (БД); субстрат-индуцированного дыхания (СиД); расчет «метаболического» коэффициента (qCO_2); определение азотфиксации; потенциальной, актуальной активности денитрификации и эмиссии метана; а также учет общей численности бактерий и численности метаболически активных бактерий и архей.

Для уровня муниципального района и области в целом использовались данные ФГБУ ГЦАС «Пензенский».

Расчёт ущерба от деградации почв проводили в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) [1] по формуле (1):

$$Ущ = Нс \times S \times Кэ \times Кс \times Кп + Дх \times S \times Кв, \quad (1)$$

где:

Нс – нормативная стоимость участка, руб./га (определялась по величине кадастровой стоимости в соответствии с (Постановление Правительства Пензенской области от 7 сентября 2012 года N 911 п-П «Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в Пензенской области» (с изменениями на 18 декабря 2020, 2020);

Дх - годовой доход с единицы площади, руб./га (рассчитывался как среднее арифметическое дохода агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь» с 1 га за период с 2017–2019 гг. по материалам, предоставленным агрохозяйствами);

S - площадь деградированных почв и земель (га);

Кэ - коэффициент экологической ситуации территории;

Кв - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель;

Кс - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель;

Кп - коэффициент для особо охраняемых территорий.

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) рассчитывался двумя методами: по стандартной методике и адаптированной. Для расчетов по стандартной методике НБДЗ использовался модуль Trends.Earth. Период исследования брался 2000 по 2015 года. Для расчетов по адаптированной методике в стандартизированную методику был внесен ряд корректив. Стандартные показатели были заменены на содержание органического вещества в пахотном горизонте, содержание обменного калия и подвижного фосфора (по

методу Чирикова) в пахотном горизонте, которые анализировались на базе результатов натурного обследования, а также данных агрохимслужбы области.

Для расчетов экономики деградации земель использовались величина ущерба от деградации почв и земель. Горизонт планирования составил 20 лет. Рассчитывалось два сценария землепользования: сценарий «действия против деградации» (т. е. учитывающий стоимость борьбы с деградацией земель) и сценарий «бездействия» (т. е. не учитывающий никаких мероприятий борьбе с деградацией земель). Главным показателем экономической эффективности работ по восстановлению земель выступает соотношение цены «бездействия» и цены «действия». Если оно больше единицы – то имеет смысл бороться с деградацией и наоборот.

Для оценки продовольственной безопасности на уровне муниципального образования рассчитывался показатель самообеспеченности. Прежде всего, были рассчитаны необходимые объемы производства (Пн, тыс. тонн) основных видов продуктов питания, среди которых картофель, овощи и бахчевые, фрукты и ягоды, мясо, молоко в соответствии с рациональными нормами потребления.

Результаты и обсуждение

Удельный ущерб для территории Кузнецкого района составил 124 236 руб./га, что, в целом соответствует величине удельного ущерба для агрохозяйства «Трудовой путь» (131638,06 руб./га) и существенно выше удельного ущерба для агрохозяйства «Евлашевское» (69166, 91 руб./га). Удельный ущерб для территории Пензенской области в целом составил 111 773 руб./га. Основной вклад в общую величину ущерба от деградации внесли показатели уменьшения содержания подвижного фосфора и изменения кислотности почв [2; 3; 5]

Расчеты, проведенные по адаптированной методике, показали резкое увеличение площади пахотных земель с деградацией – до 67,8% от общей площади пашни агрохозяйства «Евлашевское» и 59,4% от общей площади пашни агрохозяйства «Трудовой путь». Величина индекса НБДЗ становится отрицательной и составляет «-43,3%» для агрохозяйства «Евлашевское» и «-59,2%» для агрохозяйства «Трудовой путь». Для территории Кузнецкого района также, как и для территории агрохозяйств наблюдается тенденция увеличения деградированных земель при применении адаптированной методики – индекс НБДЗ уменьшается с 67,22 до 27,11. По применению базовой методики 70,70% от площади всех пахотных земель Пензенской области улучшили свое состояние за изучаемый период. Ведущую роль здесь

сыграл показатель продуктивности, базирующийся на показателе NDVI. Расчёты, проведенные по адаптированной методике, показали резкое увеличение площади пахотных земель с деградацией – до 67,54% от общей площади пашни региона [3; 4].

Для выявления взаимосвязи микробиологических показателей с показателями агроистощения почв, нами был проведён кластерный анализ иерархическим методом. По результатам, изучаемые образцы разделились на 3 кластера. Далее значения агрохимических показателей были заменены на степени деградации, рассчитанных ранее по Методике..., 1994. Выявлено, что в первом кластере представлены относительно слабodeградированные почвы, с усредненной степенью деградации от 1,5 до 2. Усредненное значение степени деградации в этом кластере стремится к 2 (среднедеградированной). Во втором кластере представлены почвы, усредненное значение степени деградации которых варьирует от 2 до 2,8, то есть образцы в этом кластере имеют явно выраженную среднедеградированную степень, которая стремится к 3 степени (сильнодеградированной). В 3 кластере один объект имеет явно выраженную 3 степень деградации (сильнодеградированную).

Соотношение цены «бездействия» и цены «действия» по отношению восстановления деградированных земель для Кузнецкого муниципального района и агрохозяйства, расположенного в этом районе, выше 1 (восстановление имеет смысл), для области в целом ниже 1 (восстановление земель смысла не имеет). Это говорит о том, что состояние земель на территории всей области в среднем лучше, чем на уровнях муниципального образования и агрохозяйства [6].

Отмечены благоприятные результаты по самообеспеченности региона овощами и бахчевыми, за исключением пяти районов. По мясу в восьми районах отмечен недостаточный уровень самообеспеченности, по молоку – в десяти. Неблагоприятная обстановка наблюдается с самообеспеченностью в регионе плодами и ягодами, только в семи районах этот показатель выше порогового значения Доктрины продовольственной безопасности. Результаты исследования по Пензенской области свидетельствуют о том, что она в целом достаточно хорошо обеспечена картофелем, овощами, немного хуже – мясом и молоком [7].

Выводы

1. Высокие значения удельного ущерба/вреда от деградации (агроистощения) почв и земель Пензенской области свидетельствуют о значительных экономических потерях региона в результате

интенсивной сельскохозяйственной деятельности и необходимости проведения рекультивации деградированных земель.

2. Применение адаптированной методики НБДЗ показало увеличение площади деградированных земель на всех уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области.

3. Многофакторный кластерный анализ выявил взаимосвязь микробиологических показателей со степенью деградации почвы. Изменение показателей микробного сообщества в худшую сторону указывает на увеличение деградированности почвы по агрохимическим показателям.

4. Оценка «действия»/ «бездействия» выявила экономическую оправданность инвестиций в восстановление продуктивности земель для уровня муниципального района и агрохозяйства. В восстановление продуктивности земель на уровне области в целом (на том же горизонте планирования) такие инвестиции не оправданы.

5. Пензенская область в целом достаточно хорошо обеспечена картофелем, овощами, немного хуже – мясом и молоком.

Литература

1. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель [утв. приказом Роскомзема и Минприроды России от 17.07.1994 г.]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9014048>. Дата обращения: 07.10.2021.
2. Макаров, О.А., Абдулханова Д.Р., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Марахова, Н.А., Крючков Н.Р., Чекин М.Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. - 2023. - Т. 78, № 2. – С. 86-93.
3. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Чекин М.Р. Совмещенная оценка нейтрального баланса деградации земель и их эколого-экономического ущерба (на примере агрохозяйств Пензенской области) // Проблемы агрохимии и экологии. - 2021. - № 3-4. – С. 79-86.
4. Макаров О.А., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Марахова Н.А., Чекин М.Р., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р. Опыт оценки нейтрального баланса деградации земель Приволжского федерального округа (на примере Пензенской области) // Агрохимический вестник. – 2021. – № 5. – С. 8-11.
5. Макаров О.А., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Чекин М.Р., Абдулханова Д.Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // Земледелие. – 2022. – №. 4. – С. 3-7.

6. Строков А.С., Макаров О.А., Чекин М. Р. Апробация концепции экономики деградации земель (на примере Пензенской области) // Агрохимический вестник. – 2022. – № 5. – С. 93-96.
7. Черкасова, О.В., Строков, А.С., Цветков, Е.В., Макаров, О.А., & Чекин, М.Р. Особенности оценки продовольственной безопасности муниципальных образований Пензенской области // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 12. – С. 36-43.

Оценка агрохимического состояния агроландшафтов Серебряно-Прудского района

Шмелёв Л.А.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
кафедра агрохимии, г. Москва, leoshmel96@mail.ru*

Введение

В настоящее время, при постоянном росте численности населения нашей планеты, ежегодно повышается нагрузка на агроландшафты. Всё более актуальными становятся вопросы о получении максимально возможных урожаев без ущерба для почв и окружающих ландшафтов. Особенно важными являются вопросы определения доз удобрений и средств защиты, организации севооборотов. Для решения подобного ряда задач зачастую необходимо обладать представленной в картографическом виде информацией о пространственном варьировании почв, почвенных свойств и отклика растений на их изменение.[2]

Цель исследования – анализ вариабельности агрохимических показателей и биомассы для агроландшафтов Серебряно-Прудского района.

Объекты и методы

Работы проводились на угодьях АО АИСФЕР в Серебряно-Прудском районе Московской области. АИСФЕР специализируется на возделывании зерновых и силосующихся культур: кукурузы, пшеницы, тритикале, ячменя. В ходе трёхлетнего наблюдения на изучаемой территории (поле площадью 14 га) последовательно сменялись тритикале, ячмень, кукуруза.

Изучаемые агроландшафты однородны по почвенному составу. Более 90% пахотных почв хозяйства относятся к чернозёмному типу, а исследуемый участок целиком занимают выщелоченные чернозёмы.

В ходе полевых работ производился отбор биомассы и поверхностного почвенного горизонта (0 - 10 см) по регулярной сетке (рис. 1) [5]. Почвенные пробы отбирались методом конверта и характеризуют собой элементарный участок площадью 5 м². Пробы биомассы отбирались сплошным укосом с 1 м². В дальнейшем проба биомассы разделялась на зерно и зелёную массу/солому, сушилась и взвешивалась.

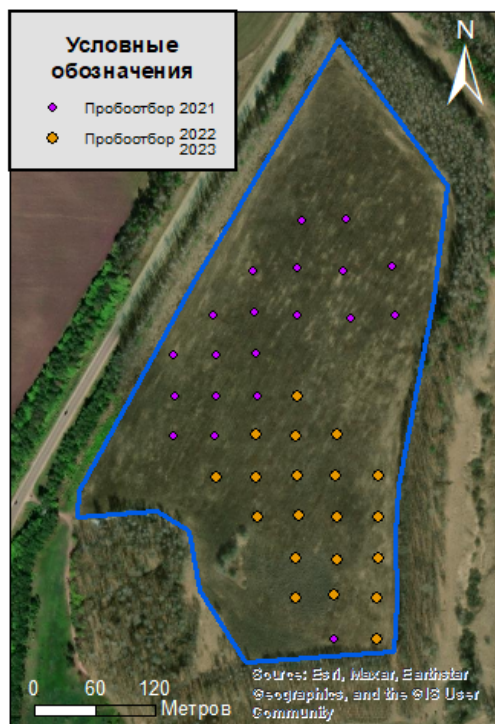


Рис. 1. Карта пробоотбора

В 2021 году было отобрано 40 проб почв и растительности. В последующие годы отбиралось 20 проб, представляющих участок агроландшафта с максимально контрастными показателями по урожайности и агрохимическими параметрами (юго-восточная часть полигона).

В ходе лабораторного анализа в почвах были определены следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} , общее содержание подвижного калия и фосфора по Чирикову [1].

Картографические модели строились преимущественно методами одинарного кригинга (показатели биомассы) и обратно взвешенных расстояний (почвенные свойства). Применение данных картографических методов даёт возможность показать реальную картину распределения параметров в пространстве, минимизировав отклонения вблизи точек с известными характеристиками. [4] Существенный недостаток использованных методов заключается в том, что они сильно теряют в достоверности при невысокой плотности точек [3] и не подходят для задач пространственной экстраполяции. В

дальнейшем, при обнаружении закономерностей в поведении изучаемых параметров, подходы к визуализации данных могут быть пересмотрены.

Результаты

Многолетнее наблюдение за состоянием поля позволяет выявить зоны повышенной и пониженной продуктивности, а также оценить устойчивость этих зон в пространстве и времени.

Количество обменного калия в большинстве проб 2021 и 2022 года находится в диапазоне 120-170 мг/кг, что соответствует повышенному содержанию калия. Максимальная концентрация калия наблюдается в южной части полигона (рис. 2).

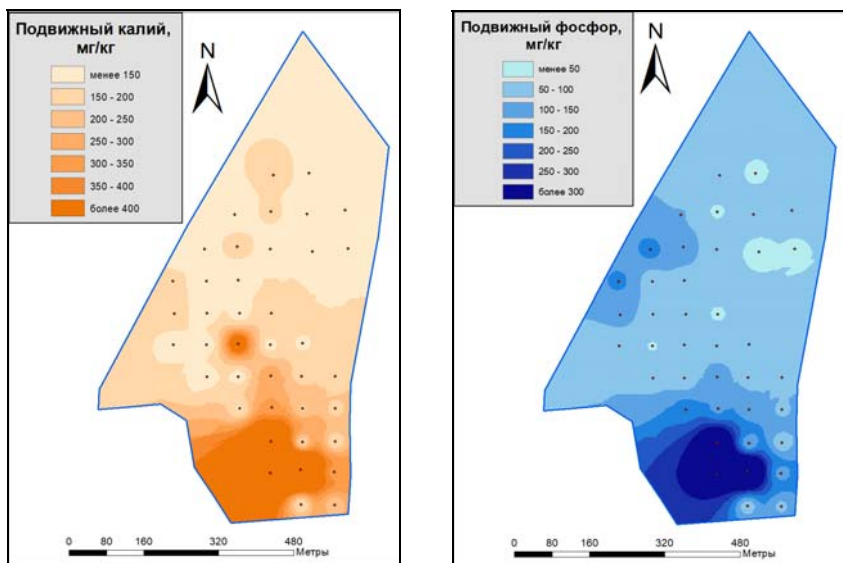


Рис. 2. Калийное и фосфорное состояние почв на 2021 год.

Обеспеченность почв подвижным фосфором можно охарактеризовать как среднюю, так как большая часть анализируемых почв по этому показателю располагается в зоне 50-100 мг/кг. Аналогично калию, максимальные концентрации фосфора приурочены к южным частям полигона. Необходимо отметить высокую положительную корреляцию двух показателей – 0,92, что отражается и в схожести карт их пространственного распределения (рис. 2).

pH на изучаемой территории дифференцирован слабо – кроме небольшого участка на юге полигона, где pH нейтрален и лежит в пределах 6-6,5. Остальная территория относится к слабокислым почвам.

Корреляционный анализ, проведённый на основании лабораторных данных в точках пробоотбора, обнаружил высокую положительную корреляционную связь pH с другими агрохимическими показателями при р-уровне значимости 95%: с калием – 0,37, с фосфором – 0,52.

Внутрипольная вариабельность биомассы выражена сильно. Корреляция между данными многолетних наблюдений показателей урожайности стремится к 0 и является статистически незначимой при данном объёме выборки (табл. 1).

1. Корреляция показателей биомассы

Годы	Зерно			Солома/зелёная масса		
	2021-2022	2021-2023	2022-2023	2021-2022	2021-2023	2022-2023
Коэффициент корреляции	0,25	-0,14	0,15	-0,15	0,31	0,52

Исключением является статистически значимая (с Р 0,95) корреляция между соломой тритикале (2021) и зелёной массой кукурузы (2023) (рис. 3).

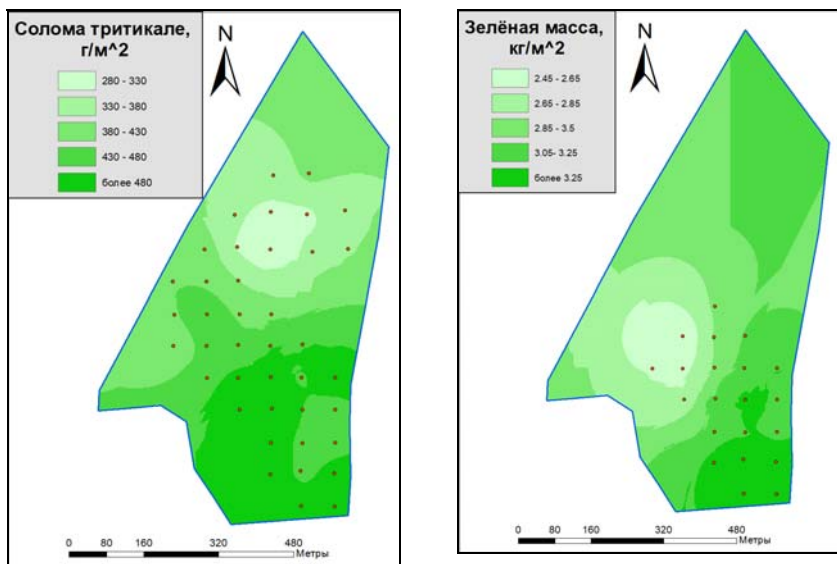


Рис. 3. Визуализация показателей биомассы с наибольшей взаимной корреляцией (2021 солома – слева; 2023 зелёная масса кукурузы – справа)

Статистически значимой корреляции с агрохимическими показателями также не было выявлено.

Вывод

Данные по варьированию урожайности обнаруживают изменчивость во времени при слабой связи с агрохимическими параметрами, что позволяет сделать вывод о том, что на их пространственное варьирование обуславливается факторами, неучтёнными в данном исследовании (содержание гумуса, гранулометрический состав почв, положение в рельефе и т.п.).

При достаточной однородности величины рН дифференциация агрохимических показателей связана с локальными накоплениями подвижных форм калия и фосфора, которые совпадают с участками, нейтральными по рН.

Литература

1. Carbon ГОСТ Р 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО, 1993.
2. Каторгин И.Ю. 2004. Анализ и оценка агроландшафтов Ставропольского края с использованием геоинформационных технологий. Автореф. Дис. ... канд. Геогр. Наук. Ставрополь, 24 с.
3. Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation // Oxford University Press, New York, 1997. – 483 p.
4. Legendre P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? // Ecology. Vol. 74 (6), 1993. – P. 1659-1673.
5. Varella C.A.A., Gleriani J.M., Ronaldo Medeiros dos Santos. Precision Agriculture and Remote Sensing // ResearchGate, 2015 –P.185-203



ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Красильников П.В.</i> Юбилей кафедры агрохимии	3
<i>Романенков В.А.</i> 160 лет кафедре агрохимии в Московском университете . .	5

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ КОНФЕРЕНЦИИ

1.1 Опыт преподавания специальности «агрохимия» в высшей школе как междисциплинарного направления	10

<i>Налиухин А.Н.</i> Преподавание агрохимии как междисциплинарной науки в Тимирязевской академии	11
<i>Романенков В.А., Егоров В.С.</i> Экологическая агрохимия – новое приоритет- ное направление научных исследований	17
<i>Ситников В.Н., Есаулко А.Н., Голосной Е.В., Ожередова А.Ю., Котова А.Ю.</i> Роль агрохимии в образовательном процессе и проведении научных ис- следований в Ставропольском государственном аграрном университете . . .	24
<i>Титова В.И.</i> Использование результатов агрохимического мониторинга почв в учебных дисциплинах и экологической экспертизе	34

1.2. Управление почвенным плодородием как задача реализации потенциальной продуктивности и охраны окружающей среды	

<i>Будажанов Л.В.</i> Научное наследие Д.Н.Прянишникова и кинетическая оценка изменений внутрпочвенной трансформации азота в системе почва - растение - удобрение	39
<i>Завалин А.А.</i> Применение изотопной индексации для оценки потоков азота в агроценозах.	44
<i>Иванов А.И., Иванова Ж.А.</i> О методах пространственного дифференциро- вания применения удобрений на мелиорированных землях Нечерноземья	48
<i>Лукин С.М., Золкина Е.И., Климкина Ю.М.</i> Оптимизация гумусового состояния дерново-подзолистой почвы при длительном применении различных систем удобрения в полевых севооборотах	55
<i>Малюкова Л.С., Великий А.В.</i> Влияние дефицита азота на образование и накопление катехинов, кофеина и теанина в листьях чая разных генотипов	60
<i>Минакова О.А.</i> Динамика плодородия выщелоченного чернозема и про- дуктивности зерносвекловичного севооборота при длительном использо- вании удобрений в ЦЧР	65
<i>Надежкин С.М., Маркарова М.Ю. Терешонок В.И., Ушакова О.В.</i> Эффективность использования микроудобрений и биопрепаратов при выращивании овощных культур.	73

2. Агрохимические, физические и микробиологические показатели в экологических программах мониторинга изменений окружающей среды и оценке экологических рисков	80
<i>Арзамасова А.В., Кинжаев Р.Р.</i> Влияние уровня известкования и минерального питания на продуктивность злаковых трав на нефтеслабозагрязненной олиготрофной торфяной почве	81
<i>Павлов К.В., Воронина Л.П., Поногайбо К.Э.</i> Секвестрация углерода из чистых органических отходов как альтернатива ОСВ	87
<i>Романенков В.А., Добровольская В.А., Мешалкина Ю.Л., Горбачева А.Ю.</i> Достижима ли глобальная цель «4 per mille» для пахотных почв европейской территории России?	94
<i>Квиткина А.К.</i> Влияние минеральных форм азота на минерализацию растительных остатков кукурузы.	99
<i>Кравцова Н.Е., Хрустьева Ю.А.</i> Изменчивость подвижного фосфора в почвах.	105
<i>Нагорная О.В.</i> Содержание микробной биомассы в чернозёмных почвах при разной степени антропогенного воздействия	110
<i>Холикова Г.К., Ганиев Б.Ш.</i> Изучение усвояемости P_2O_5 под действием азотнокислых солей мочевины Жондорского района Бухарской области	114
3. Устойчивое производство продукции и ведение сельского хозяйства	116
<i>Иванов А.И.</i> Воспроизводство плодородия почвы и эффективность мелиоративного освоения закустаренной залежи	117
<i>Окорков В.В.</i> Удобрение и питание полевых культур азотом на серых лесных почвах Верхневолжья	125
<i>Бирюкова О. А., Мокриков В.Г., Казеев К.Ш., Ерин В. А., Илюшечкин В.А.</i> Влияние жидких минеральных удобрений на пищевой режим чернозёма обыкновенного при выращивании нута по технологии no-till	137
<i>Борисенко Г.О., Азаров В.Б., Лоткова В.В.</i> Урожайность и масса 1000 семян зерна нута в зависимости от дозы основного удобрения и обработок молибден содержащим препаратом в почвенно-климатических условиях Центрального Черноземья	143
<i>Егоров В.С., Граматик К.В., Егорова Е.В.</i> Влияние ионита ZION и удобрения Osmocote на рост и развитие перца овощного (<i>Capsicum annuum</i> . L) в защищенном грунте	147
<i>Калюта Е.В., Мальцев М.И.</i> Влияние нейтрализованного раствора азотной кислоты после обработки мискантуса на прорастание семян пшеницы и огурцов	153
<i>Кучеренко А.В., Бирюкова О.А.</i> Медь в чернозёме южном при возделывании винограда и черешни	158
<i>Мальцев М.И., Калюта Е.В., Маркин В.И.</i> Из опыта применения препаратов, полученных на основе карбоксиметилированного растительного сырья, в производственных условиях Алтайского края	164

<i>Нагорных А.В., Долгополова Н.В.</i> Анализ урожайности зерна сои в зависимости от почвенных условий и структурного состояния почв	170
4. Комплексные исследования в агроэкосистемах	176
<i>Стулин А.Ф., Стахурлова Л.Д.</i> Биодинамика черноземов выщелоченных в агроценозах кукурузы и бессменного чистого пара в условиях длительного опыта	177
<i>Исаева Ж.</i> Деградация пастбищных угодий и их восстановление на юго-востоке Казахстана	184
<i>Карашева А.С.</i> Влияние длительного комплексного применения средств химизации на агрохимические свойства почвы Центрального Нечерноземья	191
<i>Козлова Н.В.</i> Изменение комплекса свойств длительно удобрявшихся почв чайных плантаций влажно субтропической зоны РФ в отсутствии удобрения	196
<i>Мальшова Е.В.</i> Комплексные исследования в агроэкосистемах Курской области.	207
<i>Переломов Л.В., Герцен М.М., Бурачевская М.В., Атрощенко Ю.М., Сиголаева Т.Е.</i> Адсорбция катионов свинца органомглинами на основе бентонита и анионных ПАВ	213
<i>Прохоров И.С., Пирумова Л.Н.</i> Публикации сотрудников кафедры агрохимии МГУ имени М.В. Ломоносова в журнале «Агрохимический вестник»	217
5. Секции круглого стола для молодых учёных.	241
<i>Аракелова Л.И., Умарова А. Б., Бутылкина М.А., Хайдапова Д.Д.</i> Характеристика реологического поведения урбаноземов городов Сыктывкар, Краснодар, Сочи	242
<i>Балашов Г. Р., Верховцева Н. В., Кубарев Е.Н.</i> Влияние предпосадочной обработки черенков смородины черной (<i>Ribes nigrum</i> L.) янтарной кислотой в условиях разреженной среды на их укоренение и развитие	248
<i>Валешная Д.В., Пашкевич Е.Б.</i> Воздействие фолиарной обработки мяты перечной (<i>Mentha piperita</i> L.) лигногуматом и лигносульфонатом на биомассу листьев и на содержание в них макро- и микроэлементов.	254
<i>Власова А.П., Павлов К.В., Степанов А.Л., Манучарова Н.А.</i> Характеристика микробного сообщества чернозема, загрязненного нефтью при применении минеральных удобрений	259
<i>Галашев М.И.</i> Изменение показателей плодородия агросерой почвы неорошаемого яблоневого сада при систематическом внесении удобрений	265
<i>Глухов К.Л., Егоров В.С., Поздняков Л.А.</i> Влияние извести на потенциальное и микробное дыхание дерново-подзолистой почвы с разным уровнем кислотности	270
<i>Дорченкова Ю.А., Грачева Т.А., Степанов А.Л.</i> Мицелиальные актинобактерии как индикаторы состояния почв (на примере заповедника Пу Хоат и других национальных парков)	278

Клушина С.И., Тосхопоран А.К., Рампопорт А.В. Почвенные и микро-климатические показатели успешного функционирования зеленых крыш ботанического сада МГУ	283
Кочетков И.М., Кубарев Е.Н. Федорова Т.В. Урожай и качественные показатели картофеля (<i>Solanum tuberosum</i> L.) при foliarной обработки гуминовыми препаратами с антиоксидантными свойствами на фоне минеральных удобрений	289
Монастырская Е.О., Верховцева Н.В. Влияние некоторых агрохимических препаратов на урожайность, качество и устойчивость чеснока <i>Allium sativum</i> к нематоды <i>Ditylenchus allium</i> в условиях черноземной почвы Краснодарского края	295
Нечаев Н.М., Егоров В.С. Влияние действия и последствия микро-удобрений на содержание Cu, Zn, Mn в растениях овсяницы красной (<i>Festuca rubra</i> L.)	302
Павлов К.В., Лепихина А.А., Канаев В.В. Индивидуальная структура растений в фазу молочной спелости зерна ячменя при локальном внесении калийных удобрений	308
Почтенная А.И., Пашкевич Е.Б. Применение лигногумата в агротехнологии возделывания черной смородины	315
Чекин М.Р., Макаров О.А., Поздняков Л.А. Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с применением различных методических подходов (на примере Пензенской области)	322
Шмелёв Л.А. Оценка агрохимического состояния агроландшафтов Серебряно-прудского района	328
ОГЛАВЛЕНИЕ	333



Научное издание

Материалы Всероссийской научной конференции
**«Агрохимическая наука – синтез академических знаний
и практического опыта»**

12 - 13 сентября 2023, Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова

Под редакцией профессора РАН В.А. Романенкова.

Авторская редакция

Оригинал-макет: к.б.н. Едемская Н.Л.

Дизайн обложки: к.б.н. Едемская Н.Л.

ISBN 978-5-6050619-9-1

ISBN 978-5-6050619-9-1



Подписано в печать 07. 12. 2023.
Бумага офсетная. Формат 60х84/16.
Гарнитура Times New Roman.
Тираж 100 экз. Заказ № 5080
Постер-М
119296, Москва, ул. Молодежная, 3