



Агрохимия в XXI веке

**Материалы
Всероссийской научной конференции
с международным участием, посвященной
памяти академика РАН В.Г. Минеева**

27-28 сентября 2018 г.



Москва 2018

УДК 63:54

ББК 40.2

А 24

А 24 **Агрохимия в XXI веке.** Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева. 27-28 сентября 2018 г.

Сборник докладов и статей участников конференции, организованной кафедрой агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. / Под редакцией профессора РАН Романенкова В.А. – М. 2018. – 248 с.

ISBN 978-5-9238-0254-2

В настоящем сборнике научных трудов опубликованы пленарные доклады и научные статьи участников конференции. Публикуемые материалы могут представлять интерес для широкого круга научных работников, агрохимиков, агроэкологов, почвоведов, микробиологов, физиологов растений.

УДК 63:54

ББК 40.2

Печатается по решению Ученого совета факультета почвоведения
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова

ISBN 978-5-9238-0254-2

© Московский государственный университет, 2018

© ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2018

Василий Григорьевич Минеев

Проводимая конференция посвящена памяти выдающегося учёного и удивительного Человека с непростой и порою героической судьбой – Василия Григорьевича Минеева.

В.Г. Минеев – академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, премии Совета Министров СССР, премии имени М.В. Ломоносова, имени Д.Н. Прянишникова, золотой медали имени К.К. Гедройца, почетный профессор Кубанского государственного аграрного университета и Брянской государственной сельскохозяйственной академии, почетный доктор Азербайджанского государственного аграрного университета и Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

Родился Василий Григорьевич 25 апреля 1931 года на хуторе Какичев Белокалитвенского района Ростовской области. В 1954 г. с отличием закончил Азово-Черноморский сельскохозяйственный институт, поступил в аспирантуру в Воронежский СХИ к профессору М.Е. Пронину. До 1972 г. вся его научная, педагогическая и организационная деятельность была связана с этим институтом.

Дар организатора науки у Василия Григорьевича проявился очень рано: в 27 лет (1958 г.) он становится директором опытной станции Воронежского СХИ, с 1964 г. он – декан факультета агрохимии и почвоведения, впервые открывшегося в этом институте. В 1968 г. Василий Григорьевич стал доктором сельскохозяйственных наук, и его назначили на должность проректора института по научной работе, которую он совмещал с заведованием кафедры.

В 1972 г. В.Г. Минеев был приглашен директивными органами в Москву для работы в ВИУА имени Д.Н. Прянишникова на должность заместителя директора и руководителя отделом Географической сети опытов с удобрениями. С 1974 г. в течение 12 лет (до 1985 г.) Василий Григорьевич – директор ВИУА. Это время совпало с расцветом агрохимии в СССР в связи с начавшейся в нашей стране широкой химизацией сельскохозяйственного производства и нарастающими темпами применения удобрений. Василию Григорьевичу удалось усилить роль ВИУА в развитии агрохимии и внедрить научные разработки и достижения института в практику сельскохозяйственного производства.

В 1985 г. Василий Григорьевич был избран вице-президентом ВАСХНИЛ и назначен председателем Президиума отделения ВАСХНИЛ по Нечерноземной зоне РСФСР. На этом посту он работал до 1988 г. Итогом большой научно-организационной, методической и научно-практической деятельности коллектива ученых Нечерноземной зоны под руководством Василия Григорьевича стала подготовка первого в стране важного документа: “Научное обеспечение агропромышленного комплекса Нечерноземной зоны России”.

В 1978 г. Н.С. Авдонин пригласил В.Г. Минеева на кафедру агрохимии, где он начал работать по совместительству в должности профессора кафедры агрохимии, а с февраля 1979 г., после кончины Н.С. Авдонина, кафедру агрохимии в МГУ имени М.В. Ломоносова возглавил Василий Григорьевич. На этом посту он проработал более 37 лет.

Большое внимание Василий Григорьевич уделял совершенствованию учебного процесса. Им составлена новая программа общего курса агрохимии, введены новые спецкурсы, что позволило усовершенствовать фундаментальную подготовку студентов по агрохимии.

Он написал и трижды издал учебник “Агрохимия” (1990, 2004 и 2006 гг.), который вошел в серию Классических университетских учебников.

Был инициатором издания учебника агрохимии для стран СНГ, который вышел в 2017 году. Под его руководством были подготовлены и изданы “Практикум по агрохимии” (1989, 2001 гг.) К написанию второго издания “Практикума по агрохимии” Василий Григорьевич привлек широкий круг агрохимиков, почвоведов, агрономов. Книга стала энциклопедией методов агрохимических исследований почвы, растений и удобрений и получила широкое признание.

На кафедре агрохимии были введены новые спецкурсы, среди них – спецкурс “Агрохимия и биосфера”, программу которого разработал Василий Григорьевич. В 1988 г. он издал учебное пособие “Экологические проблемы агрохимии”. За эту книгу и учебник “Агрохимия” Президиум РАСХН в 1996 г. присудил В.Г. Минееву золотую медаль имени К.К. Гедройца.

Обучение студентов на кафедре по программам, обеспечивающим знакомство со многими смежными дисциплинами, в том числе с биохимией растений, а также постановка научно-исследовательской работы с учетом развития фундаментальных положений агрохимии, позволили создать в 2009 году на базе кафедры агрохимии новую кафедру – агрохимии и биохимии растений.

Под руководством Василия Григорьевича кафедра агрохимии и биохимии растений МГУ имени М.В. Ломоносова стала лидером в области агрохимической науки в России. Этому во многом способствовало созданное в 2006 г. Василием Григорьевичем международное “Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов”, объединяющее ученых России, ближнего и дальнего зарубежья.

В 2008 г. учрежден научно-теоретического журнал “Проблемы агрохимии и экологии”, который в 2009 году вошел в перечень ВАК, а с 2018 года в список RSCI Web of Science.

Он подготовил десятки кандидатов и докторов наук, которые в настоящее время занимают ответственные должности по существу во всех регионах России – в Нечерноземной зоне, в Центрально-Черноземной зоне, на Северном Кавказе, в Поволжье, на Урале и в Сибири. Им подготовлены кандидаты наук из многих стран мира – Египта, Кубы, Монголии, Вьетнама, Нигерии и Азербайджана.

Велики заслуги В.Г.Минеева в его научной деятельности. Своими исследованиями он внес существенный вклад в решение зерновой проблемы в стране. Его труды в этой области высоко оценены научной общественностью: Ученый совет Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева присудил ему в 1984 г. премию имени Д.Н.Прянишникова за работы по проблеме “Агрохимия и качество пшеницы”.

Василию Григорьевичу принадлежит существенная роль в создании и развитии нового направления в науке – экологической агрохимии.

В период с 1977 по 2005 гг. Василием Григорьевичем опубликовано несколько фундаментальных монографий по проблемам экологии в области агрохимии.

Написание цикла монографий: “Почва, климат, удобрение и урожай” (соавтор В.Д. Панников, 1987 г.), “Агрохимия и биосфера” (1984 г.), “Химизация земледелия и природная среда” (1990 г.), “Биологическое земледелие и минеральные удобрения”, “Агрохимия, биология и экология почвы” (соавтор Е.Х.Ремпе, 1990 г.), “Агрохимия и экологические функции калия” (2000 г.) позволило Василию Григорьевичу совершенно по-новому осмыслить значимость агрохимии в жизни человека и всей окружающей среды и сформулировать экологические функции агрохимии. Впервые он это сделал в докладе “Экологические функции агрохимии” на научно-практической конференции “Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах”, состоявшейся в Москве в 1997 г.

Ученый Совет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова дважды присудил премию имени М.В. Ломоносова Василию Григорьевичу: за цикл работ “Экологические проблемы агрохимии и биологическое земледелие” в 1995 г. и за педагогическую деятельность в 2007 г.

Василий Григорьевич Минеев – выдающийся историк агрохимии. Он совершил титанический труд, написав и издав три тома “История и состояние агрохимии на рубеже XXI века”. Каждый том включает более 700 страниц.

Первый том был издан в 2002 г. и посвящен развитию учения о питании растений и удобрении земель от древнего мира до XX столетия.

Во втором томе “История и состояние агрохимии на рубеже XXI века” (2006 г.) Василий Григорьевич отразил “Развитие агрохимии в XX столетии”. В этой книге он дал анализ основных трудов многочисленной плеяды выдающихся ученых-агрохимиков, среди которых отмечены работы А.В. Петербургского, Е.И. Ратнера, З.И. Журбицкого, Г.С. Давтяна, И.И. Колосова, Н.З. Станкова, Н.Г. Потапова, Э.Л. Климашевского, Д.А. Коренькова, П.М. Смирнова, Д.Л. Аскинази и многих других.

В третьем томе (2010 г.) Василий Григорьевич проанализировал труды более 200 современных ученых-агрохимиков России. Он подчеркнул, что в сложный период конца XX и начала XXI веков ученые-агрохимики пополняли сокровищницу отечественной и мировой науки новыми достижениями.

В 2015 году Президиум РАН вручил В.Г. Минееву диплом лауреата премии имени Д.Н. Прянишникова за серию работ: «История и состояние агрохимии на рубеже XXI века» в трех томах и монографию «Агрохимия в Московском университете»(2013). В Вестнике Российской академии наук по этому поводу отмечено, что в «удостоенном премии цикле работ автор показал развитие агрохимической науки в России не только в трудах отечественных ученых, но и показал изначальную связь их с результатами зарубежных фундаментальных исследований. Работы В.Г.Минеева являются настоящей энциклопедией агрохимии, грандиозным справочно-библиографическим трудом. Анализ содержания серии работ по единой тематике позволяет считать, что это – классический труд по истории зарождения и развития важной отрасли естествознания в России и сотрудничества отечественных агрохимиков с учеными зарубежных стран (№4, 2015).

Большая значимость трудов Василия Григорьевича для развития агрохимии и сельскохозяйственного производства высоко оценена

Государственными органами Российской Федерации и научной общественностью.

В 1979 г. за разработку и внедрение в агрохимические и селекционные исследования автоматического метода и установку многоэлементного нейтронно-активационного анализа растений, кормов и удобрений группе ученых ВИУА, в т.ч. и Василию Григорьевичу Минееву была присуждена Первая премия Совета Министров СССР.

В 2002 г. Василию Григорьевичу присуждена Государственная премия Российской Федерации 2001 года в области науки и техники и присвоено звание лауреата Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники за цикл работ: «Функционально-экологические основы изучения, охраны, повышения плодородия почв и рационального использования почвенных ресурсов». В этом цикле научных работ высоко оценены монографии В.Г. Минеева: «Агрохимия и биосфера» (1984), «Химизация земледелия и природная среда» (1990), «Агрохимия и экологические функции калия» (1999).

Оценивая все этапы своей научно-организационной, научно-педагогической деятельности, сам Василий Григорьевич отмечал: «Я могу определенно сказать, что лучшим периодом в моей жизни, наиболее плодотворной, полезной и интересной деятельности был 37-летний период работы в должности заведующего кафедрой в Московском университете. Когда я впервые (с 1978 г.) оказался в обществе ученых факультета почвоведения, я понял, что только в таких условиях можно активно творчески работать, чтобы сделать что-то существенное в своей отрасли науки. Прежде всего на меня произвела серьезное и очень глубокое впечатление – общая университетская обстановка. Первая мысль моя была: «Живут же и работают ученые в таких прекрасных условиях. Об этом можно только лишь мечтать».

Вклад Василия Григорьевича в работу Факультета и Кафедры невозможно переоценить! Благодаря таким людям как он, на факультете почвоведения сохраняется обстановка творческого сотрудничества – взаимопонимания, взаимоуважения и взаимопомощи. А это – характерная черта высокой интеллигентности – общая для всего сообщества Московского университета.

Светлая память об этом уникальном Человеке и Учене навсегда останется в сердцах людей, а заслуги его навсегда будут вписаны в историю Московского университета и Науки Агрохимии.

Смена парадигм в развитии агрохимии и их отражение в трудах В.Г. Минеева

Романенков В.А., Егоров В.С.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
кафедра агрохимии и биохимии растений*

В развитии мировых агрохимических исследований может быть выделено несколько основных этапов. В начале XX века агрохимия концентрировалась на решении задач улучшения почвенного плодородия как способа подъема урожайности для того, чтобы обеспечить потребности населения. В этой системе минеральные удобрения рассматривались как дополнительный источник питательных элементов, наряду с органическими формами удобрений. В связи с этим в первой половине XX столетия упор был сделан на необходимость длительных полевых исследований, диверсификацию севооборотов, поддержание запасов органического углерода почвы и необходимость лучшего понимания и управления биологическими процессами.

Мнение, что минеральные удобрения смогут поддерживать урожаи и без внесения органических удобрений и при упрощении севооборотов, возникло в конце 40-50х гг. XX века и вскоре стало доминантой. Спецификой отечественной агрохимической науки явился гораздо более длительный период «классических» исследований, господствовавший до 60-х гг. XX в., времени осуществления крупномасштабной химизации сельского хозяйства. Одной из задач, решаемых в данное время в агрохимии стала минимизация затрат на удобрения, в том числе путем проведения оценок обеспеченности почв доступными питательными элементами, что стало обязательным с массовой закладкой краткосрочных полевых опытов, проводимых агрохимслужбой. На основе данных опытов оценивалась окупаемость удобрений и рассчитывались нормативы затрат удобрений для получения единицы урожая и целенаправленного регулирования почвенного плодородия, нормативы выноса питательных элементов единицей продукции.

В этот период агрохимия как наука превратилась в основу отечественного цивилизованного земледелия, гарантировавшая прогресс в сельском хозяйстве. Монографии В.Г. Минеева «Удобрение, урожай, качество» (1966), «Удобрение озимой пшеницы» (1973), «Удобрение зерновых культур» (в соавторстве с М.М. Ивлевым, Д.М. Аникст), «Удобрение и качество продукции» (1981),

«Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы» в соавторстве с А.Н.Павловым решали сложную задачу обобщения и систематизации большого экспериментального материала по потенциалу удобрений в соответствии с климатическими условиями и особенностями почвенного покрова в различных зонах страны. Анализ закономерностей влияния удобрений на качество урожая с учетом сорта, биологических особенностей культур и условий произрастания растений, а также практические рекомендации получения наилучших показателей в различных почвенно-климатических условиях остаются наиболее детальным исследованием в отечественной агрохимической литературе.

Монография «Почва, климат, удобрение и урожай», опубликованная в соавторстве с В.Д.Панниковым (1977) – капитальный труд, в котором проявилось острое чувство времени, присущее В.Г.Минееву и сопровождавшее его на протяжении всей творческой жизни. В эти годы в стране набирала силы агрохимическая служба, призванная грамотно, с высокой отдачей использовать минеральные удобрения. Появилось множество рекомендаций по эффективному их использованию. Нужна была книга, в которой любой специалист в области агрохимии мог бы найти теоретические основы управления сложными процессами сохранения и повышения плодородия почв, питания различных сельскохозяйственных растений, эффективного применения минеральных и органических удобрений для увеличения продуктивности растений и улучшения качества продукции растениеводства. Обобщение данных отечественной науки и мировой практики применения удобрений позволило В.Г.Минееву впервые изложить теорию и практику применения удобрений во взаимосвязи не только с растениями и почвами, но и обосновать необходимость учета метеорологических условий. Именно в этой работе существующее определение предмета агрохимии было дополнено учётом климатических показателей, в значительной мере влияющих на дозы и соотношения питательных веществ, сроки и способы внесения удобрений. На основании данного подхода через 6 лет в определение «агрохимия» государственным стандартом был введен «климат», и оно приобрело в те годы следующую формулировку: «Агрохимия – наука о взаимодействии удобрений, почвы, растений и климата, круговороте веществ в земледелии и рациональном применении удобрений». Фундаментальные положения агрохимии, изложенные в этом издании, отражены в виде 10 принципов повышения культуры химизации земледелия, а результаты полевых опытов

с удобрениями представлены в виде как обучающего, так и программного материала, задающего необходимость проведения исследований, связанных с питанием растений и применением удобрений.

Влияние потерь питательных элементов, вносимых с удобрениями, стало очевидным в мире и в стране к началу 70-х гг. XX в. в связи с расширением производства и применения удобрений. Это потребовало учета экологических последствий применения удобрений. Задача управления почвенным плодородием расширилась, включив как экономические, так и экологические показатели. Парадигма экологизации сельского хозяйства 80-х гг. утвердила использование экологических подходов при разработке агротехнологий. Вначале господствовала технологическая составляющая улучшения эффективности использования удобрений чтобы устранить временную асинхронность и пространственное разделение между удобрением и растением – ленточное внесение, фертигация, дробное внесение. Разрабатывались ингибиторы нитрификации, обеспечивающие снижение потерь азота и повышение урожая, но проблема потерь питательных элементов оставалась актуальной. Ориентация на средства защиты растений позволила отказаться от фуражных и промежуточных культур в севообороте, что привело к еще более выраженному размыканию циклов азота, фосфора и углерода. В этих условиях микрогетерогенность пахотного слоя создаёт условия сосуществования зон с существенным С и N лимитированием. Это требует постоянного переизбытка N в системе, что превышает возможности почвы для его закрепления.

В 1984 г. в монографии «Агрохимия и биосфера» В.Г. Минеев впервые рассматривает химизацию земледелия в связи с научно-техническим прогрессом и в целом с функционированием биосферы: *«...В последние годы все острее встает вопрос о влиянии средств химии, применяемых в сельском хозяйстве, в том числе различных видов удобрений, на окружающую человека среду. Здесь проявляется определенная связь агрохимии с различными экологическими системами и в целом со всей биосферой»*. Это положение впервые было сформулировано в агрохимической литературе и ориентировало агрохимиков на исследования в этой области, что во многом и было реализовано в последующие годы. В монографии обсуждается ряд важнейших положений, получивших развитие в последующие годы. В.Г. Минеев отметил, что многие рекомендации по применению удобрений даются для повышения урожая, но не рассчитаны на систематическое поддержание плодородия. Важнейшей задачей науч-

ных исследований является повышение коэффициента использования питательных веществ растениями, снижение потерь в окружающей среде, повышение (рост) урожая и качества сельскохозяйственной продукции. Наибольшие проблемы при использовании удобрений с экологической точки зрения связаны с азотом. В связи с этим актуальна диверсификация источников N через большее вовлечение в трансформацию азотсодержащих органических остатков, биологическую фиксацию азота, изучение механизма денитрификации, создание новых видов азотфиксирующих бактерий, вступающих в симбиоз с небобовыми растениями.

Развивая тему взаимодействия агрохимии с окружающей средой в 1990 г В.Г. Минеев публикует книгу «Химизация земледелия и природная среда». Данная книга – отклик на интенсификацию применения средств химизации в земледелии, как необходимость полнее удовлетворять потребности в продуктах питания постоянно растущего населения.

В ней сформулировано положение о том, что *«...интенсивная химизация земледелия представляет потенциальную опасность для окружающей среды. При длительном систематическом применении химических средств существует реальная возможность накопления их остатков прежде всего в почве, а также в растениеводческой продукции»*. В этой связи подробно рассмотрены вопросы: эвтрофикация природных вод, газообразные потери азота, ухудшение круговорота питательных веществ, состояние фитопатогенной (фитосанитарной) обстановки, снижение продуктивности и качества продукции, проблема зафосфачивания почв, наличие примеси тяжелых металлов в применяемых удобрениях, низкий коэффициент использования питательных веществ удобрений.

Дальнейшая работа над книгами «Агрохимия, биология и экология почвы» (1990, в соавторстве с Е.Х. Ремпе), «Биологическое земледелие и минеральные удобрения» (1993, в соавторстве с Б. Дебрецени, Т. Мазур) позволила В.Г. Минееву совершенно по-новому осмыслить значимость агрохимии в жизни человека и всей окружающей среды, философски обобщить имеющиеся факты и сформулировать экологические функции агрохимии. Впервые он сделал это в докладе «Экологические функции агрохимии» на научно-практической конференции «Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах», состоявшейся в Москве в 1997 году. В учебнике «Агрохимия», выпущенном в 2004 году, В.Г. Минеев поднимает вопрос о постоянном совершенствовании понятия «агрохимия» в связи с расширением задач этой отрасли науки

и формированием новых ее экологических функций, что «отражает сложную диалектическую взаимосвязь между растением, почвой, климатом и агрохимическими средствами. Изучение этой взаимосвязи является главной задачей агрохимии».

Высокая урожайность и снижение нагрузки на окружающую среду до сих пор являются конфликтующими позициями, несмотря на широкое признание концепции устойчивости. Какую часть от общей продуктивности можно использовать на поддержание экосистемных услуг? Это определяется природными – климатическими, топографическими, почвенными, а также социально-экономическими ограничениями. Данные составляющие концепции устойчивого производства продукции и ведения сельского хозяйства В.Г. Минеев сформулировал в своем последнем автобиографическом труде «Тернистый путь к вершине науки» (2016) как важнейшие проблемы для научно-методических центров плодородия и прогрессивных технологий: изучение состояния и динамики почвенного плодородия, исследование биологического круговорота и баланса биогенных элементов как важнейшего показателя устойчивого земледелия, реализация потенциальной продуктивности сельскохозяйственных растений, получение качественной и экологически безопасной продукции, исследование и оценка оечественных агроресурсов, учет социально-культурной инфраструктуры сельскохозяйственного производства.

**АГРОХИМИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ,
СОЗДАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ, В ТОМ ЧИСЛЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ, ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности

Сычёв В.Г., Ефремов Е.Н.

ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова

Продовольственная безопасность Российской Федерации является одной из главных целей аграрной и экономической политики государства и необходимым условием реализации стратегического национального приоритета – повышения качества жизни граждан России. В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации дано четкое определение продовольственной безопасности: это экономическое состояние страны, при котором защищается социальная независимость России, гарантируется экономическая доступность пищевых продуктов по доступным ценам и в необходимых количествах. Обеспеченность продовольствием было и будет основным критерием, по которому можно оценивать уровень социально-экономического благополучия в стране. В этом смысле стремление к продовольственной безопасности – непрерывный процесс. При этом для ее достижения возможна временная смена приоритетов развития и механизмов реализации аграрной политики.

Самодостаточность Российской Федерации по земельным, водным, энергетическим, трудовым ресурсам и по научно-техническому потенциалу позволяет в полной мере обеспечивать население страны необходимым количеством качественного продовольствия. Успехи агропромышленного комплекса в последнее пятилетие позволили выйти на пороговый уровень, определенный Доктриной продовольственной безопасности, и даже превысить его по ряду основных продуктов. Ключевым звеном обеспечения продовольственной безопасности России в современных условиях является увеличение производства продовольственного и фуражного зерна, которое должно стать фундаментом для дальнейшего развития мясного и молочного животноводства. Состояние отечественного агросектора определяет сейчас стабильно высокое производство зерновых, что позволяет направить на экспорт заметные объемы пшеницы, кукурузы и ячменя.

Уровень обеспечения продовольственной безопасности страны может быть оценен широким спектром показателей, в том числе и технико-экономическими показателями, характеризующие экономическое состояние аграрного сектора и состояние материальной базы АПК (посевные площади, поголовье скота, производство и на-

личие сельхозтехники, использование удобрений, средств защиты растений и др.). С их помощью можно определить среднесрочные тенденции продовольственной безопасности. Они же служат основой для текущего и среднесрочного прогнозирования планирования и управления АПК.

Вся история развития общества показывает, что решение проблемы продовольственной безопасности невозможно без применения средств интенсификации – минеральных удобрений, средств защиты растений, орошения, научно обоснованных севооборотов, энергонасыщенных агротехнологий при сохранении высокого уровня плодородия почв сельскохозяйственных угодий.

Минеральные удобрения – главный ресурс управления продукционным процессом в современных агротехнологиях. Мировой рынок минеральных удобрений стремительно развивается. Основная движущая сила развития – увеличение населения земного шара, существенно опережающее расширение площадей пахотных земель и быстро растущий спрос на продукты питания. Без применения удобрений удовлетворить этот спрос невозможно. Повышение интенсивности земледелия, в том числе использование удобрений, пестицидов, химических мелиорантов и регуляторов роста растений представляется единственным решением проблемы обеспечения продовольствием. По мнению экспертов ФАО, минеральные удобрения останутся основным средством интенсификации производства продуктов питания на ближайшие 30 - 50 лет. Оценка потребления минеральных удобрений в 2050 году превышает 320 млн.т NPK. Кстати, по оценкам других экспертов именно к 2050 году изменение климата повысит риск продовольственной нестабильности в мире до 20%. В Российской Федерации производится 20 млн.т минеральных удобрений в пересчете на питательные вещества, что составляет 10% мирового производства, однако внутреннее использование не превышает 3 млн.т. NPK.

При сегодняшнем уровне обеспеченности сельских товаропроизводителей материально-техническими ресурсами, большая часть урожая сельскохозяйственных культур формируется за счёт мобилизации запасов почвенного плодородия без адекватной компенсации выносимых элементов питания, превышающих в целом ряде случаев уровень их внесения с удобрениями в 2-3 раз. Это приводит к отрицательному балансу питательных веществ и гумуса в почве и создаёт условия для усиления деградиционных процессов, а значит увеличивает риски невыполнения задач, определенных Доктриной

продовольственной безопасности. В настоящее время 36,4 млн. га пахотных земель (31%) имеют повышенную кислотность, 55 млн. га (46%) – низкое содержание гумуса, 25 млн. га (22%) – низкое содержание подвижного фосфора и 11,5 млн. га (10%) – низкое содержание подвижного калия.

Баланс питательных веществ в целом по стране остается как и все предшествующие 25 лет стабильно отрицательным. Это неудивительно, так как только с урожаем зерновых культур в 2017 году было вынесено более 9,5 млн.т NPK (с учётом основной и побочной продукции), а в нынешнем году – 7,5 млн.т. NPK. Внесено же под зерновые культуры немного более 1 млн.т NPK.

Активный экспорт зерна в последнее десятилетие и его предполагаемое увеличение в ближайшей перспективе с позиции агрохимии означает трансграничный перенос питательных веществ дополнительно к сложившемуся межрегиональному переносу внутри страны. При уровне ежегодного экспорта в 30-35 млн.т зерна пределы страны покидают порядка 1 млн.т питательных веществ, а при экспорте 50 млн.т зерна трансграничный перенос превысит 1,5 млн.т NPK. Это следует учитывать при разработке мер государственной поддержки сельских товаропроизводителей.

Основным условием стабильного развития агропромышленного комплекса России и решения задач продовольственной безопасности является сохранение, воспроизводство и рациональное использование почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Почвенное плодородие составляет особую производственную силу земли, существенно влияющую на производительность труда в земледелии и себестоимость растениеводческой продукции. Сохранение и воспроизводство плодородия почв сельскохозяйственных угодий является естественным условием интенсификации земледелия, способствует росту урожайности сельскохозяйственных культур, увеличивает ценность земли, имеет важное природоохранное значение.

Эффективность функционирования агропродовольственного комплекса, как любой многоотраслевой подсистемы экономики, во многом зависит от структуры производства и сбалансированности межотраслевых потоков ресурсов. Развитие АПК в среднесрочной перспективе (следовательно, и решение комплекса задач продовольственной безопасности) может быть реализовано по различным сценариям. Оценка потребности в материально-технических ресурсах, в первую очередь потребность в минеральных удобрениях, для реализации сценариев развития АПК по существу предполагает разработку

межотраслевого прогноза производства зерна, кормов и продукции животноводства с учетом наличия и структуры земельных ресурсов, динамики почвенного плодородия и технологического потенциала сельского хозяйства. В табл. 1 приведены оценки потребности в минеральных удобрениях на перспективу для 3 сценариев развития сельскохозяйственного производства.

1. Оценка потребности земледелия Российской Федерации в минеральных удобрениях при различных сценариях развития сельскохозяйственного производства

Сценарий развития АПК	Валовый сбор зерна, млн.т	Потребность в минеральных удобрениях, млн.т. NPK			
		азотные	фосфорные	калийные	всего
инерционный	100 - 105	1,4	1,4	1,4	4,2
базовый	120 - 125	2,8	2,1	2,1	7,0
оптимистический	145 - 150	3,2	2,1	2,1	7,4

Анализ современного состояния и возможных сценариев развития сельскохозяйственного производства подтверждает необходимость проведения комплекса агрохимических мероприятий, обеспечивающих повышение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, а также улучшение общей экологической обстановки в регионах интенсивного аграрного производства.

Реализация перспективы устойчивого развития сельского хозяйства, обеспечивающего продовольственную безопасность страны и выход на мировые рынки продовольствия, возможна только при использовании новейших достижений науки, в том числе и агрохимии. Агрохимической наукой и практикой передовых хозяйств разработаны конкретные системы удобрений, которые обеспечивают как управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроценозах, так и регулирование круговорота элементов минерального питания в агроландшафтах.

Одним из важных условий получения планируемых урожаев высокого качества к целенаправленного повышения плодородия почв является применение удобрений с учетом особенностей конкретного поля, биологических особенностей культур и других условий. Существенным резервом увеличения производства продукции в растениеводстве является повышение окупаемости удобрений, которая в свою очередь зависит от доз и соотношений питательных веществ, сроков и способов внесения в почву.

Основной информационной базой для разработки рекомендаций являются длительные опыты с удобрениями, проводимыми по программам Географической сети. Так в длительном опыте на Центральной опытной станции нашего института изучаются влияние взаимодействия удобрений, химических мелиорантов и средств защиты растений на продуктивность севооборота, окупаемость удобрений и уровень почвенного плодородия. Результаты этого опыта показывают, что оптимальное сочетание минеральных и органических удобрений с регуляторами роста растений, гербицидами и фунгицидами при соблюдении агротехники позволяет достичь на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве урожайности озимой пшеницы на уровне 5-6 т/га, а в отдельные годы, благоприятные по погодным условиям, до 8-9 т/га. Комплексное применение удобрений и средств защиты растений позволило обеспечить окупаемость 1 кг НРК 9-10 кг зерна. Но главное, при этом обеспечена позитивная динамика показателей почвенного плодородия. За 8 ротаций севооборота содержание гумуса выросло на 20%, содержание подвижных форм фосфора в почве увеличилось в 3 раза, а подвижного калия – в 7-8 раз. Результаты этого опыта наглядно подтверждают, что сбалансированное минеральное питание растений, поддержание почвенного плодородия и благоприятного фитосанитарного состояния почв и посевов сельскохозяйственных культур возможно только при интегрированном применении минеральных удобрений, пестицидов и других средств химизации в рамках научно обоснованных севооборотов.

Обобщение материалов опытов Географической сети позволило оценить эффективность применения азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от степени окультуренности полей. В качестве примера в табл. 2 приведены данные по влиянию уровня обеспеченности почв подвижным фосфором на эффективность возрастающих доз азотных удобрений в звене севооборота длительного опыта на ЦОС ВНИИ агрохимии.

Обобщение материалов большой совокупности опытов показало, что агрохимические свойства почв оказывают существенное влияние на экономическую эффективность действия азотных удобрений. Повышение содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах, а также снижение их кислотности оказывают положительное влияние на окупаемость затрат, связанных с применением азотных удобрений. Разница в окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая на почвах с оптимальными агрохимическими свойствами в 1,5 раза выше по сравнению с почвами, которые характеризуются низким содержанием фосфора, калия и кислой реакцией среды.

2. Влияние уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений

Доза азота на фоне Р ₆₀ К ₆₀ , кгN/га	Содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг							
	0-50		50-70		70-100		100-150	
	Урожайность ц/га з.е.	Окупаемость кг/кгN	Урожайность, ц/га з.е.	Окупаемость, кг/кгN	Урожайность, ц/га з.е.	Окупаемость, кг/кгN	Урожайность, ц/га з.е.	Окупаемость, кг/кгN
0	15,5	-	17,1	-	22,2	-	26,4	-
60	22,0	10,8	24,8	12,8	29,1	11,5	35,2	14,7
90	25,1	10,7	29,0	13,2	33,7	12,8	39,3	14,3
120	24,9	7,8	31,6	12,1	36,7	12,1	44,0	14,7
150	22,6	4,7	30,0	8,6	38,3	10,7	46,2	13,2

При решении задач продовольственной безопасности необходимо учитывать существенную зависимость результатов деятельности сельскохозяйственных предприятий от рисков, связанных с неблагоприятными погодными условиями. Во многих регионах России климатические и погодные условия оказывают определяющее влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и его качество, эффективность удобрений и затраты на производство растениеводческой продукции. Продовольственная безопасность страны определяется стабильностью производства основных сельскохозяйственных культур, в первую очередь – зерна, которая, как показывает многолетний опыт, существенно зависит от климата. Наблюдаемое увеличение климатической изменчивости урожайности в определенной мере дестабилизирует сельскохозяйственное производство, уменьшает его устойчивость и экономическую эффективность.

Агрохимия ищет пути противодействия климатическим рискам путем целенаправленной модификации систем удобрения конкретных культур или целых севооборотов. Полевые опыты Географической сети показали, что погодно-климатические условия оказывают большое влияние на эффективность удобрений. К климатическим условиям, определяющим эффективность удобрений, относятся: сумма активных температур, сроки наступления весенних и осенних заморозков, количество и распределение в течение года осадков и влагообеспеченность почв основных регионов страны. Установлена зависимость окупаемости минеральных удобрений на посевах зерновых культур в разных агроклиматических условиях. Она изменяется от 5,6 кг зерна на 1 кг NPK (недостаточное увлажнение, избыточная обеспеченность теплом) до 10,4 кг зерна на 1 кг NPK (оптимальный

уровень увлажнения и тепла) при низких дозах удобрений (N30P30K30) и от 2,6 до 1,4 кг зерна на 1 кг NPK при высоких дозах удобрений (N120P120K120).

Увеличение валовых сборов зерна является одной из основных задач сельскохозяйственного производства, однако при этом не менее важное значение имеет улучшение качественных показателей зерна. В последнее десятилетие рост валовых сборов зерна сопровождается снижением его качества, что негативно влияет на экспортный потенциал.

Качество зерна зависит от многих факторов – погодных и агротехнических. Метеорологические условия вегетационного сезона, состояние почвенного плодородия, сортовые особенности, технология возделывания культуры, степень повреждения растений болезнями и вредителями и другие факторы действуют в сложном комплексе, и вычленение роли каждого из них связано со значительными трудностями. Между тем, для сельскохозяйственного производства важно установить, какие именно условия определяют снижение качества получаемой продукции и что можно сделать для ослабления отрицательного влияния негативных факторов путем использования достижений современной агрохимии.

Так, ряд важных качественных показателей зерна как содержание белка, количество и качество клейковины, находится в очень тесной зависимости от влагообеспеченности периода вегетации пшеницы. Повышенное увлажнение приводит к пониженному содержанию протеина, и, наоборот, в годы с засушливым вегетационным периодом отмечается его высокое содержание. Годы, благоприятные для налива и получения зерна с высоким абсолютным весом, как правило, дают низкое содержание белковых веществ. Зависимость содержания клейковины в муке от метеорологических условий примерно такая же, как и для протеина. Улучшение влагообеспеченности растений благодаря повышенному количеству осадков или ослаблению напряженности транспирации (пониженная температура и повышенная влажность воздуха) приводят к ухудшению качества зерна за счёт пониженного содержания клейковины. В опытах Географической сети установлено, что азотные удобрения, повышая содержание клейковины, влияют на её качество по-разному в зависимости от сорта и сопутствующих погодных условий в период налива, созревания и уборки зерна. В условиях повышенной температуры и недостатка влаги качество зерна, выращенного с применением удобрений по сравнению с контрольным (без удобрений) улучшается; при созревании и уборке в дождливом году – ухудшается, а в ряде случаев остается без

изменения. Фосфорные удобрения на фоне достаточного содержания азота могут существенно повысить содержание белка в растениях и зерне. Высокая влажность, обеспечивающая повышенные урожаи, обычно ведет к снижению белковости зерна и, следовательно, его пищевой ценности. Если с увеличением влажности повысить уровень питания растений азотом, то можно предупредить снижение белковости зерна даже при резком увеличении урожая. Наиболее рациональным методом использования азотных удобрений является их дробное внесение по результатам почвенной и растительной диагностики.

Состояние и баланс свинца и кадмия в системе почва-удобрений-растение при длительном применении агрохимических средств

Егоров В.С., Назарова Л.К.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Дана оценка состояния свинца и кадмия в системе почва-удобрений растений и их баланса при длительном применении агрохимических средств.

Поскольку почва является основным средством сельскохозяйственного производства, накопление в ней избыточных количеств тяжелых металлов представляет собой крайне нежелательное явление. Поэтому одной из важнейших функций агрохимии является снижение негативных последствий от локального и глобального техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами и другими токсическими элементами.

Изучение влияния длительного применения минеральных удобрений и известкования на состояние и баланс свинца и кадмия в почве проводили в длительном полевом опыте, заложенном в 1966 г. на Центральной опытной станции ВНИИА в поселке Барыбино Домодедовского района Московской области. Почва опыта дерново-подзолистая тяжелосуглинистая.

Схема опыта: 1. Контроль без удобрений; 2. НК; 3. НК + известь по 1,5 г.к. 4. НК+ известь по 2,5 г.к. 5. НК+Рс 6. НК + известь по 1,5 г.к.+Рс 7. НК + известь по 2,5 г.к.+Рс.

Дозы удобрений за ротацию севооборота (средние значения): аммиачная селитра – 90 кг/га, суперфосфат двойной гранулированный – 60 кг/га, калий хлористый – 120 кг/га. Известь вносили в виде магниезиальной известняковой муки в течение первых трех ротаций и в восьмую ротацию (2006 год). Фосфорные удобрения вносили в течение первых пяти ротаций, с 1993 года не вносили, изучали их последствие. Азотные и калийные удобрения применяли ежегодно в качестве фона.

Исследования проводили в звене пятипольного (до 1992 года) севооборота: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – картофель (*Solanum tuberosum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare* L.) с подсевом клевера (*Trifolium pretense* L.) – клевер 1-го года пользования – клевер 2-го года

пользования. В 1993 году из севооборота был исключен картофель. С 2013 года вместо клевера выращивали горох (*Pisum sativum* L.).

Длительное, в течение 48-50 лет, применение минеральных удобрений и известкование не оказало статистически значимого влияния на уровни содержания в почве валовых форм свинца и кадмия по сравнению с контролем. Содержания валовых форм тяжелых металлов в почве всех вариантов были ниже ПДК.

Применяемые сочетания удобрений оказали различное действие на содержание в почве форм металлов, извлекаемых 1н НСl (потенциальный запас подвижных форм свинца и кадмия). Корреляционный анализ показал тесную связь между потенциальным запасом металлов и показателями кислотности почвы. Следует отметить, что для свинца выявленная зависимость была статистически достоверной, коэффициент корреляции варьировал в пределах от 0,94 - 0,96. Так, повышение кислотности почвы при внесении в почву физиологически кислых азотно-калийных удобрений привело к повышению содержания кислоторастворимых форм свинца в почве по сравнению с контролем на 5% - 8%. На содержание кадмия в почве данные удобрения не оказали существенного влияния. Известкование способствовало уменьшению вышеназванных форм свинца и кадмия. Эффективность мелиоранта зависела от его дозы, с возрастанием дозы известки до 2,5 г.к. иммобилизация тяжелых металлов была существенной.

Содержание форм металлов, извлекаемых ААБ рН 4,8 (актуальный запас подвижных форм), главным образом, зависело от кислотного режима почвы. Так, между актуальным запасом свинца и кадмия и показателями кислотности почвы (рН, Нг, S и V) наблюдалась статистически значимая высокая корреляция по шкале Чеддока ($r = 0,83 - 0,95$). Систематическое внесение азотно-калийных удобрений привело к достоверному повышению содержания форм свинца, извлекаемых ААБ рН 4,8 во все три года наших наблюдений.

Во влиянии физиологически кислых азотно-калийных удобрений на содержание кадмия в почве, извлеченных ААБ рН4,8, четкая закономерность не была выявлена.

Известкование почвы в дозе по 2,5 г.к. и 1,5 г.к. на фоне полного минерального удобрения привело к статистически значимому изменению концентрации этих форм металлов в почве.

Систематическое длительное применение минеральных удобрений и известки привели к накоплению в почве опыта комплексных (в том числе связанных с органическим веществом почвы), извлекаемых 1% ЭДТА в 1 н. ААБрН 4.8 соединений свинца и кадмия.

Для оценки степени влияния систематического применения минеральных удобрений и известки на подвижность Pb и Cd, нами был рассчитан коэффициент подвижности свинца и кадмия в почве. Для свинца характерны более низкие показатели коэффициента подвижности в почве, чем для кадмия. Известкование существенно уменьшило подвижность тяжелых металлов в почве. Максимальное понижение мобильности свинца и кадмия было зафиксировано на варианте последствия фосфорного удобрения и известкования в дозе по 2,5 г.к. на фоне азотно-калийных удобрений. Коэффициент подвижности свинца при этом сочетании удобрений уменьшился на 49% , а Кп кадмия – на 47%, относительно контрольного варианта. Подкисление почвы опыта при систематическом использовании НК удобрения стало главным фактором повышения подвижности и доступности растениям свинца.

Урожайность в зависимости от варианта изменялась с 16 ц/га на контроле до 52 ц/га для озимой пшеницы и с 17 до 47 ц/га для ячменя при совместном применении (последствии) суперфосфата и известки в дозе по 2,5 г.к. на фоне НК.

Главным фактором динамики содержания тяжелых металлов в растительной продукции стало косвенное влияние минеральных удобрений и известкования через изменение агрохимических свойств почвы опыта. Анализ тесноты связи между концентрацией свинца в растениях и показателями кислотности почв (рН, Нг, S, V) выявил заметную и высокую зависимости по шкале Чеддока (г между вышеперечисленными показателями варьирует в диапазоне от 0,63 до 0,92).

Для выявления зависимости концентрации анализируемого металла в тканях растений с его формами нахождения в почве был проведен корреляционный анализ. Тесная зависимость была обнаружена между концентрацией металла в зерне обеих культур, а также в соломе ячменя и содержанием форм свинца, извлеченных 1 н. HCl ($r=0,64 - 0,91$). Однако только в 2016 году зависимость содержания Pb в зерне и в соломе ячменя от кислоторастворимых форм металла была статистически значимой ($r = 0,91$ и $r = 0,84$, соответственно)

Между концентрацией свинца в биомассе злаковых культур во все три года исследования и актуальным запасом металла в почве также была выявлена тесная зависимость, коэффициент корреляции колебался в пределах от 0,73 до 0,94, что соответствует высокой и весьма высокой корреляции рассматриваемых факторов по шкале Чеддока.

На всех вариантах опыта получена экологически безопасная продукция содержание свинца и кадмия в зерне и соломе культур было ниже ПДК.

Снижение содержания свинца в зерне и соломе ячменя на известкованных вариантах обусловлено двумя однонаправленными процессами – снижением подвижности свинца в почве и ростовым разбавлением вследствие более высокого урожая. Это является положительным явлением, так как при получении более экологически безопасной продукции из почвы выносятся большее количество загрязнителя.

При расчете хозяйственного баланса свинца на разных вариантах опыта были получены отрицательные величины, кроме варианта с систематическим применением азотно-калийных удобрений, где сложился положительный баланс рассматриваемого металла. Однако следует отметить, что данное положительное значение баланса свинца равно $0,06$ г/га или $2,0 \cdot 10^{-5}$ мг/кг несущественно относительно ОДК Рв 65 мг/кг. В балансе кадмия приходная статья (поступление тяжелого металла с удобрениями) была выше выноса кадмия культурами севооборота.

При учёте поступления металлов с атмосферными осадками на всех вариантах опыта, включая контрольный, отмечается положительный баланс. Максимальный положительный баланс как свинца, так и кадмия зафиксирован при внесении азотно-калийных удобрений. Таким образом, загрязнение почвы свинцом и кадмием в первую очередь было обусловлено их поступлением с атмосферными выпадениями.

**Проблема биологизации земледелия
в Нечерноземной зоне России
(состояние и перспективы исследований)**

Лукин С.М.

*Всероссийский научно-исследовательский институт
органических удобрений и торфа - филиал ФГБНУ
"Верхневолжский ФАНЦ", Владимирская обл., п.Вяткино*

В последние годы во многих регионах страны активно внедряются системы биологизации земледелия, при этом большое внимание уделяется освоению почвозащитных севооборотов, использованию органических удобрений, насыщению севооборотов многолетними травами, пожнивными посевами. Повышение емкости биологического круговорота веществ и воспроизводство плодородия почв в них осуществляются путем возврата растительных остатков в почву, реутилизации отходов животноводства и птицеводства, научно обоснованного применения минеральных удобрений.

В нашем понимании биологизация земледелия не подразумевает возврат к малопродуктивным системам земледелия, которые опираются лишь на природное плодородие почв без соблюдения основного закона-возврата. Она должна базироваться на максимально возможном использовании биологических ресурсов в сочетании с научно обоснованным, рациональным использованием агрохимических средств: минеральных удобрений, химических мелиорантов, средств защиты растений и др. Каждый из этих приемов сам по себе положительно влияет на плодородие почвы и ее продуктивность, однако более высокий эффект достигается при их сочетании.

Во ВНИИОУ проводятся многолетние исследования по проблеме биологизации земледелия, повышению эффективности использования биологических факторов, изучении их роли в воспроизводстве плодородия почв. В течение длительного времени Институт осуществлял координацию научных работ по заданию 07 «Разработать научные основы биологизации земледелия на базе высокоэффективных, экологически безопасных технологий производства и использования органических удобрений и биоресурсов в адаптивно-ландшафтном земледелии» Программы фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса Российской Федерации.

Важнейшее значение в системе биологизации земледелия принадлежит совершенствованию структуры посевных площадей, внедрению севооборотов, насыщенных бобовыми культурами. Обобщение большого количества опытов, проведенных в институте, свидетельствует о большом потенциале бобовых, как источников биологического азота в земледелии.

В вегетационном опыте в песчаной культуре установлено, что коэффициент фиксации азота атмосферы клевером красным составлял 95 %. В полевых условиях коэффициент биологической азотфиксации у бобовых культур достигал 70%. В опытах с бобовыми культурами на супесчаной дерново-подзолистой почве установлено, что наибольшей азотфиксирующей способностью характеризуется клевер красный 2 г. жизни – 263 кг/га азота в год; остальные культуры располагались в следующем порядке: люпин многолетний – 210, донник желтый – 200, люцерна 2 г. жизни – 170, клевер + тимофеевка – 168, клевер 1 г. жизни – 163, донник белый – 153, люпин однолетний – 139, горох на зелёный корм – 138, сераделла – 118, люцерна 1 г. жизни – 114, горох на зерно – 106, бобы кормовые – 104, вика + овёс – 70, горох + овёс – 53 кг/га.

В системе биологизации земледелия использованию органических удобрений принадлежит ведущая роль. Несмотря на сокращение объемов внесения органических удобрений в последние годы, с навозом и компостами вносится в сельскохозяйственных организациях России около 700 тыс. тонн НРК. С учетом неиспользуемой на кормовые цели соломы и сидератов с органическими удобрениями в почву поступает около 50 млн. тонн органического вещества и 1,5 млн. тонн НРК.

Сравнительная оценка различных систем удобрения, проведенная в длительном стационарном опыте, показала, что прирост урожайности зерна озимой пшеницы от минеральных удобрений составил 4-22 ц/га, от органических – 10 - 20, от совместного внесения органических и минеральных – 18-23 ц/га. В целом за севооборот (10 ротаций) эффективность органоминеральной системы удобрений при среднегодовой дозе удобрений навоз 10 т/га+N50P25K60 оказалась на 25 % выше, по сравнению с эквивалентным количеством минеральных удобрений.

В условиях недостатка навоза большая роль в повышении плодородия почв принадлежит использованию растительных остатков и сидератов. В полевом опыте в зернотравянопропашном севообороте изучена сравнительная эффективность органоминеральной

и биологизированной систем удобрения. В органоминеральной системе удобрения урожай основной и побочной продукции отчуждался, навоз КРС вносился под картофель, минеральные удобрения - ежегодно. В биологизированной системе воспроизводство плодородия осуществлялось за счет использования биоресурсов агроценозов: соломы, отавы многолетних трав в комбинации с внесением умеренных доз минеральных удобрений. В результате исследований установлено, что эффективность органоминеральной и биологизированной систем удобрения примерно одинакова. При использовании органоминеральной системы удобрения продуктивность севооборота составила 41,1 ц з.ед./га, биологизированной – 39,9 ц з.ед./га.

Существенное место в структуре посевных площадей Нечерноземной зоны могут иметь смешанные посевы бобовых со злаковыми и другими культурами. Они являются значительным ресурсом в повышении степени полезного использования растениями тепла, света, осадков, питательных веществ почвы, что связано с относительно высокой устойчивостью их к стрессовым факторам среды и более полной реализацией биопотенциала агроценозов.

Во ВНИИОУ проведены исследования по оценке агробиологических особенностей различных видов и сортов средоулучшающих культур, характеризующихся высокой удобрительной ценностью. Подобраны сорта и разработаны технологии возделывания перспективных для Нечерноземной зоны культур – донника, сои, многолетнего люпина, сорго-суданковых гибридов. Разработанные ВНИИОУ технологии использования сидератов и средоулучшающих культур в Нечерноземной зоне РФ, включают оптимизацию структуру посевных площадей и севооборотов, насыщение их бобовыми культурами, максимальное использование биологического азота, при этом обеспечивается сохранение и повышение плодородия почв и продуктивности земледелия, создание устойчивой кормовой базы для животноводства.

Вместе с тем использование только биологических приёмов повышения плодородия почв без применения минеральных удобрений не компенсирует вынос элементов питания и может сопровождаться снижением их запасов в почве, что подтверждается данными, полученными в полевом опыте с внесением сидератов в течение 6 лет под картофель.

Важное значение в системе биологизации земледелия принадлежит использованию соломы, а также другие растительных остатков. В целом по России, по расчетам института, ежегодно производится около

130 млн. т растительных остатков различных сельскохозяйственных культур – зерновых и зернобобовых, кукурузы, подсолнечника, сои, ботвы картофеля и свеклы. Основную долю их них составляет солома зерновых и зернобобовых культур – до 80 %.

Исследованиями установлено, что длительное систематическое применение соломы в севообороте в комбинации с минеральными удобрениями, бесподстильным навозом, пожнивными сидератами, микробиологическими препаратами способствует сохранению и воспроизводству плодородия почв: оптимизации биологического, гумусового, агрофизического состояния почв, баланса элементов питания.

Так, в длительном полевом опыте применение соломы зерновых и зернобобовых культур на удобрение за 3 ротации 5-польного зернопропашного севооборота в суммарной дозе 27 т/га на фоне минеральных удобрений обеспечило повышение в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почве: содержания Сорг – на 0,045-0,066 %; запасов гумуса – на 1350-1980 кг/га; численности сапрофитной микрофлоры – в 1,3-1,9 раза; актуальной биологической активности – на 20 %; содержания микробной биомассы - на 23-31%; нитрификационной способности - в 2,1 раза; содержания легко-разлагаемых фракций почвенного органического вещества – на 16-37%; содержания обменного калия – на 39-52 мг/кг; продуктивности севооборота – на 10 ц з.ед./га.

С использованием методов экологической селекции в сотрудничестве с научными учреждениями России, Мексики, Казахстана, Белоруссии созданы новые адаптированные к различным условиям выращивания, высокопродуктивные сорта с высокой средообразующей способностью – донник белый Мещерский 99, донник жёлтый Судогодский, люпин многолетний Гренадер, сорта ярового тритикале –Амиго, Норманн, Кармен, Россия и др. Сорта допущены к использованию по многим регионам РФ, что указывает на их высокую экологическую пластичность и адаптивность к конкретным условиям возделывания.

В настоящее время более 170 стран мира развивают органическое сельское хозяйство, в нем занято более 2 млн. производителей. Ежегодный прирост производства продукции, выращенной по технологиям органического сельского хозяйства составляет 12-15% в год, и, по прогнозам, такие темпы сохранятся до 2025 года. Россия, по данным Национального органического союза, занимает всего лишь 0,2% от мирового рынка органических продуктов. Принятие закона №280-ФЗ от 3 августа 2018 "Об органической продукции и о внесении

изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" создает условия для ускоренного внедрения в практику сельского хозяйства технологий производства органической продукции.

В нашей стране исследования в области органического сельского хозяйства крайне ограничены. Практически отсутствуют исследования по сравнительной оценке различных систем земледелия (органического, интегрированного, интенсивного) по влиянию на продуктивность агроценозов, качество продукции, экономические показатели производства. Не разработаны регистры технологий органического производства, отсутствуют требования к выбору земельных участков для производства органической продукции, нет исследований по оценке качества продукции, выращенной по технологиям органического земледелия. Не определены перспективы рынка органической продукции и система сертификации органических продуктов. Существующие рекомендации по производству органической продукции основаны на использовании зарубежных технологий, которые не соответствуют природно-климатическим и экономическим условиям Российской Федерации.

Между тем, фундаментальной и технологической основой органического сельского хозяйства является биологизация земледелия. Исследования и разработки по биологизации земледелия могут быть использованы, как для производства органической продукции, так и при производстве продукции по интегрированным и интенсивным технологиям.

Создание фундаментальных основ биологизации земледелия, разработка агротехнологий нового поколения, базирующиеся на принципах комплексного, природоохранного использования биологических и агрохимических факторов, ресурсосбережения, экологизации сельскохозяйственного производства являются одними из наиболее перспективных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований в области сельского хозяйства.

Современное состояние баланса гумуса и питательных веществ в земледелии России

В.Н. Кудеяров^{1,2}

¹ *Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, г. Пущино;*

² *Всероссийский институт фитопатологии РАН*

Потоки питательных элементов при современном характере сельскохозяйственного производства носят преимущественно однонаправленное движение, то есть поступающие из почвы в растения питательные элементы отчуждаются с урожаями и перемещаются на урбанизированные территории, из которых они уже никогда не возвращаются в почвы. Рециклированию в почвах подвергается лишь малая часть питательных элементов, оставшаяся на поверхности почвы в виде пожнивных и побочных продуктов растениеводческой продукции, корней и в виде органических удобрений (навоз, сидераты).

Данные мировой статистики свидетельствуют, что за последние 40 лет на долю минеральных удобрений приходилось 40% прироста производства продовольствия в мире (FAO, 2011). Минеральные удобрения стали мощным рычагом не только повышения продуктивности сельского хозяйства, но и весьма ощутимым фактором, воздействующим на глобальные биогеохимические циклы биофильных элементов.

При всех негативных последствиях интенсивной химизации сельского хозяйства альтернативы применению минеральных удобрений не имеется. Причина в том, что высокопродуктивное товарное сельскохозяйственное производство представляет собой открытую биогеохимическую систему. На выходе из этой системы стоит масштабная товарная продукция, с которой отчуждаются большие объемы биофильных элементов. В большинстве Европейских стран средний уровень урожая, например зерновых, достигает 8 – 10 т зерна/га (FAO-stat, 2017). Для обеспечения такого урожая, кроме высокопродуктивных сортов, химических препаратов защиты растений от вредителей и болезней требуется обеспечение растений соответствующим количеством почвенного питания. Так для формирования урожая зерна в 10 т/га с соответствующим количеством побочной продукции необходимо предоставить растениям (с учётом коэффициентов использования питательных веществ) ~ 400 кг азота, ~130 кг фосфора и ~250 кг калия. Ни одна почва за счёт естественного

плодородия не сможет обеспечить таким количеством питательных элементов планируемый урожай, тем более, систематически из года в год. Поэтому для компенсации отчуждения с урожаями питательных элементов из почв и для последующего планируемого высокого урожая необходимо постоянное интенсивное удобрение почв.

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.

Особенностью земледелия является тот факт, что вся произведенная на пашне продукция является чистой первичной продукцией фотосинтеза (NPP), которая быстро утилизируется и становится источником CO_2 . В категорию экосистемной продукции (NEP) (предшественника гумусовых веществ) переходит незначительная часть органического С, остающегося после микробного разложения NPP. Собранный урожай сельскохозяйственных культур перерабатывается, используется как продовольствие, животные корма или сырье для промышленности. А отходы производства (за исключением навоза) практически уже не возвращаются на поля и в почвы. В агроэкосистемах, остающаяся NEP в виде корней и пожнивных остатков очень мала и практически не компенсирует расхода углерода органического вещества почвы на минерализацию. В результате сельскохозяйственное производство при традиционной системе земледелия (ТС) практически всегда является чистым источником CO_2 .

Различные чередования культур (севообороты) имеют разные потенциалы для углеродонакопления в почвах. Углерод накапливается в почвах тогда, когда складывается положительный азотно-углеродный баланс в севообороте, то есть наряду с приходом азота (биологического или удобрений) поступает в соответствующих количествах и органический углерод.

Как правило, при уборке урожая вывозится не только товарная часть продукции, но и побочная, а в почве остаются только корни. Нередко пожнивные остатки подвергаются и огневому палу. Низкие нормы органических удобрений и незначительное использование сидератов также не способствуют накоплению органического углерода в почвах. Все вместе взятое ведет к углеродной деградации почв, сопровождающейся большей подверженностью эрозии, меньшей

водоудерживающей способностью, потерей структуры, уменьшением порозности а также уменьшением разнообразия почвенной биоты.

При расчетах потоков питательных элементов использовали статистические данные за период 1992 – 2016 гг. по распределению земельной площади РФ по категориям, посевным площадям сельскохозяйственных культур, валовым сборам продуктов растениеводства, урожайности сельскохозяйственных культур. Использованы данные по производству и применению минеральных и органических удобрений (Росстат, 1995; 2010; 2017; FAO Stat, 2014, 2015, 2017). Использовались справочные материалы по соотношению основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, пожнивным наземным остаткам и корневым системам (Рекомендации Почвенного института им. В.В. Докучаева для исследования баланса ..., 1984, цит. по Семенов, Когут, 2015). Все виды сельскохозяйственной продукции переводились в сухую биомассу и для определения величины углерода первичной продукции фотосинтеза (NPP) умножались на единый коэффициент 0.45.

Расчёты выносов N, P и K из почвы с урожаями сельскохозяйственных культур выполнялись с использованием соответствующих коэффициентов, приведенных в монографии Петербургского (1979).

Углерод

Перестройка производственных отношений в сельскохозяйственном секторе России привела к серьезным структурным изменениям аграрного землепользования. Выведенные из сельскохозяйственного оборота десятки миллионов гектаров пахотных угодий перешли в разряд залежных земель, подвергшихся зарастанию луговой и древесной растительностью. Это в свою очередь изменило характер формирования биологической продуктивности и ее состав на сельскохозяйственных угодьях в целом.

Наиболее резкие сокращения посевных площадей происходили в период с 1992 до начала 2000-ых годов. В последующие 15 лет посевные площади сельскохозяйственных культур стабилизировались на уровне 78 – 80 млн. га (Росстат, 2017).

Как показывают статистические данные, получение сельскохозяйственной продукции в России в настоящее время осуществляется в основном за счет естественного плодородия почв, а точнее за счёт минерализации органического вещества почв, запасавшегося в течение предшествующих тысячелетий. При этом почвы обедняются не только доступными формами элементов питания, но и страдают от дегумификации.

В наших расчетах баланса углерода побочная продукция, также как и основная относилась к утилизируемой, то есть продукции, которая практически полностью подвергается минерализации и служит в конечном счете источником CO_2 .

В расчетах расходной части углеродного баланса учитывалось также микробное (гетеротрофное) дыхание пахотных почв (Rh), Факторы, определяющие уровень Rh – это количество поступающих в почву органических материалов, уровень увлажнения и температуры почв. Поступление в почву органических материалов, прежде всего, зависит от величины NPP экосистемы, в нашем случае от количества, поступающих в почву наземных растительных остатков, корней и органических удобрений.

Баланс углерода (Б) на пахотных угодьях РФ определялся с расчётом за год. За приходную часть баланса принималась общая NPP, состоящая из углерода основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, наземного растительного опада и корневых систем. Расходная часть баланса (П) состояла из основной и побочной продукции, выраженной в углероде плюс величина почвенного гетеротрофного дыхания (Rh). Баланс углерода: $B = NPP - (П + Rh)$. Отрицательная величина баланса указывает на превалирование эмиссии C-CO_2 над его стоком и означает, что данная экосистема является источником CO_2 . Положительная величина баланса – преобладание стока C-CO_2 над его эмиссией. Данные по состоянию баланса углерода за период 1992 – 2016 гг. показали, что пахотные угодья России за период 1990 – 2016 гг. представляли собой чистый источник C-CO_2 в размере 21 – 27 (в среднем 24,5) млн. т $\text{C-CO}_2/\text{год}$.

Из состава пахотных угодий за 25 летний период в залежное состояние перешло до 40 млн. га. Исследование углеродного баланса залежей показало, что этот вид земель превратился из источника CO_2 в его абсолютный сток, то есть происходила секвестрация атмосферной CO_2 . Так, средняя скорость депонирования углерода в бывших пахотных почвах РФ оценивается около 45 млн. т C в год, а в целом за 1995 – 2016 гг. аккумулировалось около 1 млрд. т углерода в органическом веществе почв и растительной биомассе выросших за это время древесной и кустарниковой растительности (Kurganova et al., 2010; 2014; Баева и др., 2017).

Оценивая в целом изменение баланса углерода на землях сельскохозяйственного назначения за период 1992 – 2016 гг. можно констатировать, что в земледелии России за счет сокращения пахотных угодий и перевод их в залежное состояние существенно изменило баланс

углерода. Земледелие в целом из чистого источника C-CO₂ в начале девяностых годов превратилось в чистый накопитель (секвестор) C-CO₂ в размере около 20 (45-24,5=20,5) млн. т C-CO₂/год.

Азот, фосфор, калий

В земледелии России с начала девяностых годов радикально изменился баланс биогеохимических потоков N, P, K в агросфере. При сокращении посевных площадей произошло одновременно и снижение норм применения всех видов удобрений. Отличительной особенностью применения удобрений после 1990 года являются, прежде всего, очень низкие дозы их применения на гектар пашни и резкое сокращение удобряемой площади пашни в 90-ых годах. С начала двухтысячных годов отмечается постепенный рост доли удобряемой площади, но этот рост обусловлен сокращением общей посевной площади.

Статистические данные о состоянии применения всех видов удобрений после 1992 года до настоящего времени свидетельствуют об уникальной ситуации: страна, являющаяся одной из крупнейших в Мире производителей минеральных удобрений, в то же время в земледелии России применяют ничтожно малое количество удобрений и как следствие получают одни из самых низких урожаев.

За 25 летний период в земледелии России вынос азота с урожаями сельскохозяйственных культур превысил внесение азота со всеми видами удобрений на 63.5 млн. т. или в расчете на гектар посевов 814 кг. Земледелие России в настоящее время испытывает острый дефицит азота и судя по продолжающейся тенденции нарастания этого дефицита ситуация в обозримой перспективе не изменится. Недостаток азота в питании растений не может обеспечивать получения полноценного по качеству и количеству урожая сельскохозяйственной продукции.

Еще более острая картина вырисовывается с балансом фосфора в земледелии. Если в случае с азотом какая-то часть его дефицита компенсируется за счет биологической фиксации, то пополнение запасов фосфора в почвах возможно только путем применения фосфатных удобрений. Состояние баланса фосфора в земледелии России показывает, что вынос фосфора с урожаями сельскохозяйственных культур за 25 лет уже превысил более чем в 3 раза внесение фосфора со всеми видами удобрений. В результате образовался дефицит в 23 млн. т P₂O₅ в масштабе всего земледелия России. Дефицит фосфора в земледелии России ничем не оправдан. В стране имеется огромный потенциал запасов лучшего в мире по качеству фосфатного

сырья – Хибинского апатита, отличающегося от зарубежных месторождений высокой концентрацией P_2O_5 , чистотой и легкостью переработки не только на высококонцентрированные удобрения, но и на кормовые добавки для скота.

За годы после развала СССР производство фосфорных удобрений и фосфатного концентрата не только не снизилось, а напротив увеличилось, достигнув в 2016 году 11,5 млн. т апатитового концентрата, который в основном идет на производство фосфорных удобрений. Три четверти выпускаемой фосфорсодержащей продукции поставляется на мировой рынок. Создается весьма тревожная картина. Запасы высококачественного фосфатного сырья исчерпываются и в основном направляются на удобрения в зарубежные страны. Никаких признаков изменения ситуации в лучшую сторону на ближайшую перспективу не наблюдается. Производители, поддерживая достаточно высокий уровень производства минеральных удобрений в России, в основном экспортируют их за рубеж. По причине дороговизны удобрений отечественные сельхозпроизводители, не имея достаточных инвестиций, не могут покупать эти удобрения. В результате из страны уплывают громадные количества столь дефицитных удобрений, обеспечивающих получение дополнительной продукции на многие миллионы долларов странами-импортерами наших удобрений.

С другой стороны наша страна тратит огромные средства на импорт продовольствия и сырья из этих же стран. Причем затраты на импорт продовольствия гораздо выше, чем выручка от продажи за рубеж удобрений. В итоге мы оказываемся в продовольственной зависимости от ряда европейских стран и в результате подрываем собственную продовольственную безопасность.

Следует особо отметить, что безоглядный экспорт за рубеж минеральных удобрений, в особенности фосфорных, в перспективе приведет к невосполнимым потерям для производства продовольствия и сырья в стране, поскольку разведанные запасы в России фосфатных руд практически не приращиваются. Хибинские апатиты уже разрабатываются более 70 лет и в не столь отдаленной перспективе придут к истощению. Замена хибинского апатита на другие источники фосфора (низкопроцентные фосфориты) – малоперспективна в силу трудоёмкости и энергозатратности их переработки на удобрения.

Ситуация с калием менее острая, чем с фосфором или азотом, но без применения калийных удобрений нельзя полностью реализовать потенциал эффективности азотных и фосфорных удобрений, а также получение полноценной сельскохозяйственной продукции.

Многие почвы, особенно легкие, имеют невысокие природные запасы калия. Дефицит калия стал обнаруживаться и в чернозёмных почвах, которые по сравнению с дерново-подзолистыми и серыми почвами имеют гораздо бóльшие природные запасы калия, поскольку черноземы сформировались на лёсах, имеющих достаточно высокое природное содержание калия.

Данные по балансу калия также демонстрируют весьма серьезный накопленный дефицит данного элемента в земледелии – более 62 млн. т K_2O . Запасы калия в почвах не безграничны. При таком соотношении выноса калия с урожаями и его внесения с удобрениями в недалеком будущем, калий будет лимитировать получение качественной сельскохозяйственной продукции.

Продуктивность и качество культур севооборота при длительном применении удобрений в условиях стационарных опытов

Стулин А. Ф.

Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы,
п. Опытной станции ВНИИК

В длительных стационарных опытах изучена продуктивность культур севооборота и монокультуры кукурузы при длительном ежегодном внесении удобрений. Определена продуктивность и качество растениеводческой продукции.

Результатирующим показателем эффективности любого агротехнологического приёма служит урожайность культуры, так как именно она является основным показателем сельскохозяйственного производства. В данной работе приведены результаты длительного ежегодного применения удобрений на урожайность культур десятипольного севооборота за пять ротаций и кукурузы в бессменных посевах в стационарных полевых опытах Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Севооборот развернут на трех полях и одном поле с монокультурой кукурузы с площадью каждого поля 1,1 га. Севооборот десятипольный, в котором 50% зерновых, 20% технических и 30% кормовых культур. Монокультура кукурузы пространственно размещена на расстоянии 12 м от делянок севооборота. Это самый длительный продолжающийся опыт с монокультурой кукурузы в Российской Федерации.

Почва – чернозём выщелоченный, среднемощный, малогумусный, тяжелосуглинистый на карбонатной глине. На момент закладки опыта в пахотном слое содержалось: гумуса 5,65%, общего азота 0,24%, фосфора 0,15%, калия 2,0%, рН_{сол.} – 5,3.

Минеральные удобрения (Naa, Pcr, Kx) вносили ежегодно с 1965 г. осенью по 60 кг/га д.в. по схеме Жоржа Виля и дополненной четырьмя вариантами: N1P0,5K1, N1P2K1, N1P1K2, N2P1K1.

В настоящем сообщении анализу подвергнуты наиболее значимые варианты. Площадь опытных делянок 269,5 м². Повторность трехкратная.

Урожайность зеленой массы кукурузы на неудобренном фоне в среднем за 5 ротаций севооборота составила 26,2 т/га (от 17,4 в 1993 г. до 40,7 т/га в 1973 г.), в монокультуре – 22,1 т/га (от 16,2 до 30,3 т/га в те же годы, что и в севообороте) (табл. 1). Уровень урожайности по ротациям севооборота на естественном фоне составил: в I – 28,4 т/га,

II – 25,8, III – 20,5, IV – 31,5 и V – 25,0 т/га, что выше, чем в монокультуре: I-III ротациях – на 14%, IV – на 24% и V – на 26%. Реакция кукурузы на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений была одинаковой и не зависела от места ее выращивания.

1. Продуктивность кукурузы в монокультуре и севообороте при длительном внесении удобрений, т/га (среднее за 5 ротаций).

Вариант	Монокультура		Севооборот		Прирост за счёт севооборота	
	зелёная масса	зерно	зелёная масса	зерно	зелёная 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
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
N60P60K60	10,1	1,32	8,8	1,29	2,8	0,58
N120P60K60	13,2	1,79	11,5	1,65	2,4	0,47
HCP _{0,5}	2,4	0,32	2,9	0,35		

Примечание. Урожайность на контроле и прибавки от удобрений.

Отмечена ведущая роль азота в повышении урожайности кукурузы. Внесение N60 повысило урожайность зеленой массы кукурузы в среднем по севообороту на 4,0 т/га, с колебаниями по ротациям от 2,1 т/га во второй до 5,2 т/га в четвертой. В монокультуре средняя прибавка была выше на 30%, а варьирование составило от 4,0 т/га во второй до 6,8 т/га в четвертой ротации.

Урожайность зерна кукурузы на неудобренном фоне в среднем за годы исследований в севообороте составила 3,42 т/га с размахом варьирования по годам от 1,84 т/га в 1983 г. до 5,08 т/га в 2015 г. В монокультуре этот показатель – 2,81 т/га с колебаниями от 1,63 т/га в 1986 г. до 4,42 т/га в 2015 г. Уровень урожайности зерна кукурузы по ротациям севооборота на фоне без удобрений составил: в I ротации 2,50 т/га, II – 4,02, III – 2,96, IV – 2,98, V – 4,63 т/га; в сопоставимые годы в монокультуре этот показатель был соответственно: 2,42; 2,34; 2,54; 2,90 и 3,85 т/га. Одинаковая схема внесения удобрений и агротехника одного и того же гибрида в севообороте и монокультуре позволяет в сопоставимые годы выяснить роль севооборотного фактора. В среднем за все годы исследований прирост урожайности кукурузы за счёт севооборотного фактора по вариантам опыта был в пределах 2,3 – 4,1 т/га зелёной массы и 0,47 – 0,62 т/га зерна.

На естественном фоне урожайность озимой пшеницы по вико-овсу и кукурузе на силос составила, соответственно, 2,4 т/га с колебаниями от 1,43 т/га в 1972 году до 3,56 т/га в 2009 году, по кукурузе на силос урожайность была 1,46 т/га с размахом от 1,04 т/га в 1984 г. до 3,07 т/га в 1994 г. (табл. 2).

2. Урожайность культур в севообороте при длительном внесении удобрений, т/га (среднее за 5 ротаций)

Вариант	Озимая пшеница по предшествующему		Ячмень	Подсолнечник	Сахарная свёкла	Вико-овес, сено
	Вико-овес	Кукуруза на силос				
Контроль	2,41	1,46	1,77	1,53	28,8	3,67
N60	0,50	0,57	0,80	0,25	4,6	0,76
N60P60	0,87	0,92	1,08	0,40	8,7	1,27
N60K60	0,64	0,11	0,96	0,26	6,9	0,82
N60P60K60	1,07	1,00	1,32	0,51	10,3	1,60
N120P60K60	1,27	1,24	1,50	0,52	12,6	1,91
НСП _{0,5}	0,22	0,19	0,21	0,19	2,8	0,48

Примечание. Урожайность на контроле и прибавки от удобрений.

Урожайность ячменя, подсолнечника, сахарной свеклы, вико-овса на естественном фоне составило, соответственно, 1,77; 1,53; 28,8 и 3,67 т/га. Размах варьирования по ячменю на этом фоне составил 1,81 т/га, подсолнечнику – 1,07, сахарной свекле – 29,8, вико-овсу – 5,19 т/га. Одним из определяющих факторов повышения продуктивности культур при их выращивании является создание оптимальных условий потребления посевами азота, находящегося в наших почвах в первом минимуме. Внесение N60 повысило урожайность озимой пшеницы по вико-овсу на 21%, по кукурузе на силос – 39%, ячменя – 45%, подсолнечника и сахарной свеклы на 16% и вико-овса на 21%. При внесении оптимальной дозы N60P60K60 урожайность озимой пшеницы и ячменя повысилась на 68 и 75%, по другим культурам рост был в пределах 33-34%. Повышение азота до 120 кг/га достоверно повышало урожайность только озимой пшеницы, размещенной по кукурузе на силос, по остальным культурам прирост находился в пределах ошибки опыта.

По обобщенным данным стационарных опытов 7-ми НИИ в ЦЧР за 2005-2015 гг. наилучшими урожаями озимой пшеницы были варианты с внесением N60P60K60 - N90P90K90.

Результаты определения физических, химических и хлебопекарных качеств зерна озимой пшеницы показали тесную зависимость этих признаков от уровня минерального питания и погодных условий вегетации. Так во влажные годы содержание белка на неудобренном фоне составило 10,54%, а при внесении N60 повысилось до 11,23%, в то время как в засушливые годы этот показатель был, соответственно, 13,22 и 14,88%. В среднем внесение N60P60K60 повышало стекловидность на 15%, содержание белка в зерне на 1,85%, сырую клейковину на 4,9% и объем хлеба на 32 см³, при показателях на неудобренном фоне: стекловидность – 77%, белок – 12,05%, сырая клейковина – 24,7%, объем хлеба – 548 см³.

Содержание протеина, жира, сахара, клетчатки и золы в зерне кукурузы зависело от места её выращивания, внесенных удобрений и погодных условий, при этом севооборот оказывал большее влияние на естественном фоне, чем при внесении удобрений. Так содержание протеина на неудобренном фоне составило в севообороте 9,24% и 7,69% в монокультуре, а при внесении N60P60K60, соответственно, 11,56% и 11,24%. Севооборот и удобрения оказывали положительное влияние на содержание лизина и триптофана в белке. Место выращивания кукурузы не влияло на содержание жира, сахара и золы.

Качество корней сахарной свёклы сильно зависело от фона и погодных условий. Содержание сахара в корнях на естественном фоне в острозасушливом 1972 г. составило 22,6%, в то время как во влажном и прохладном 1990 г. – 16,0%. Отмечено снижение сахаристости корней при одностороннем внесении азота и при его повышении в составе полного удобрения на 0,4%. В самые различные по погодным условиям годы на фоне N60P60K60 получены наиболее высокие сборы сахара (7,1 т/га). Изменение соотношения N,P,K в полном удобрении путём увеличения дозы одного из элементов до 120 кг/га не увеличивает сбор сахара. Наибольшая окупаемость 1 кг д.в. удобрений сбором сахара отмечена на вариантах N60P60 и N60P60K60 – соответственно, 9,2 и 11,1 кг. Увеличение дозы N,P,K свыше 60 кг/га приводит к снижению окупаемости единицы удобрений сбором сахара в среднем по этим вариантам на 37%. Минеральные удобрения не способствовали повышению жира в ядрах подсолнечника. В вариантах N60 и N120P60K60 отмечено в среднем за все годы исследований снижение содержания жира на 1,5; 1,7% по сравнению с контролем. Наибольшее влияние на сбор масла с 1 га оказывало внесение N60P60 и N60P60K60: сбор масла в этих вариантах увеличивался на 25% по сравнению с естественным фоном. Изменение соотношения N,P,K в полном

удобрении не влияло на сбор масла.

Таким образом исследования, проводимые в севообороте и монокультуре кукурузы за пять ротаций, прошедших от начала опыта, показали, что наиболее эффективное использование минеральных удобрений и формирование высоких урожаев кукурузы в севообороте 35,0 т/га зелёной массы и 4,71 т/га зерна, в монокультуре, соответственно, 3,22 и 4,13 т/га происходит при ежегодном внесении N₆₀P₆₀K₆₀. На этом фоне урожайность зерна озимой пшеницы по вико-овсу и кукурузе на силос составила, соответственно, 3,48 и 2,46 т/га, ячменя – 3,09 т/га, семян подсолнечника – 2,04 т/га, корней сахарной свёклы – 39,1 т/га и сена вико-овса – 5,27 т/га.

Максимальный сбор и окупаемость урожаем зерна, масла и сахара 1 кг д.в. удобрений независимо от погодных условий имело место на варианте N₆₀P₆₀K₆₀.

Влияние фолиарной обработки наночастицами серебра на качество клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.)

Пашкевич Е.Б., Пряхин Ю.Д., Кубарев Е.Н.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
кафедра агрохимии и биохимии растений*

*Фолиарная обработка картофеля (*Solanum tuberosum* L.) наночастицами серебра в разных концентрациях значительно увеличила урожай клубней, содержание в них нитратов (на некоторых вариантах отмечено превышение ПДК по этому показателю), водорастворимых сахаридов, и не оказала существенного влияния на содержание белка, крахмала и серебра в клубнях.*

В настоящее время в сельском хозяйстве для защиты от фитопатогенов растений преобладают химические средства защиты, которые наносят серьезный экологический ущерб.

Возможным альтернативным способом защиты растений от фитопатогенов могут стать наночастицы серебра. В отличие от химических препаратов, наносеребро имеет более широкий спектр антибактериального, фунгицидного и противовирусного действия, не вызывает привыкания, проявляет универсальное действие по отношению к различным видам растений, являясь экологически безопасным.

Вместе с тем, наносеребро – тяжёлый металл и, в отличие от ионов, обладает пролонгированным действием, что, в условиях продолжительного влияния, может оказывать негативное действие на растения. Влияние наночастицы различных металлов на рост и развитие растений весьма неоднозначно. Так, в научной литературе есть данные об ингибирующем воздействии наночастиц некоторых металлов на рост листьев и корней растений (причём листьев в большей степени). А в ряде экспериментов имело место стимулирующее воздействие наночастиц металлов на рост тех же органов растений [1].

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – весьма часто возделываемая на территории Российской Федерации культура. Для получения высоких урожаев клубнеплодов хорошего качества необходима обработка картофеля препаратами против фитопатогенов [2].

Целью наших исследований было изучить влияние фолиарного внесения наночастиц серебра на урожай и качество картофеля.

Объекты и методы

Мелкоделяночный полевой опыт был заложен на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра (УО ПЭЦ) МГУ имени М.В. Ломоносова. Почва опытного поля – дерново-подзолистая культурная среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых красно-бурой суглинистой мореной.

В исследовании использовали препараты, содержащие различное количество наночастиц серебра (25 мг/л, 50 мг/л и 100 мг/л), в состав которых, для предотвращения слипания наночастиц, входило амфотерное поверхностно активное вещество (ПАВ) – талловый амфополикарбоксихлорид натрия.

В опыте было 6 вариантов (см. схему ниже) в 3-х кратной повторности.

Вариант: Фолиарную обработку растений проводили:

1 – контроль	дистиллированной водой;
2 – ПАВ 800	поверхностно-активным веществом в концентрации 800 мг/л;
3 (ПАВ 1600)	поверхностно-активным веществом в концентрации 1600 мг/л;
4 (Ag 25 + ПАВ 800)	препаратом с концентрацией ПАВ 800 мг/л и наночастицами серебра (25 мг/л);
5 (Ag 50 + ПАВ 800)	препаратом с концентрацией ПАВ 800 мг/л и наночастицами серебра (50 мг/л);
6 (Ag 100 + ПАВ 1600)	препаратом с концентрацией ПАВ 1600 мг/л и наночастицами серебра (100 мг/л);

Картофель раннеспелого сорта «Удача» высаживали в борозды, расстояние между кустами составляло 33 см, размер одной делянки – 2,5 м². В почву, в качестве предпосевного удобрения, вносили 50 кг/га азофоски (N, P₂O₅, K₂O по 8 кг/га каждого элемента).

Обработку растений препаратами проводили до полного их смачивания три раза при помощи садовых распылителей с механизмом ручного нагнетания давления и разрежения при помощи выходного клапана с распылительной насадкой.

Гидротермический коэффициент Селянинова вегетационного периода был равен 1,67, что соответствует избыточному увлажнению [3].

Определение нитратов в свежем материале проводили с помощью ионселективного электрода для нитратов иономером «Эксперт – 001», Россия. Количество белка в сухом растительном материале рассчитывали по содержанию в клубнях белкового азота, после осаждения белка трихлоруксусной (ТТХ) кислотой, с последующим золением и определением азота методом Кьельдаля [4].

Для картофеля коэффициент пересчёта азота в белок составляет 6,25 [5].

Водорастворимые сахараиды и крахмал определяли фотометрически после гидролиза сухого растительного материала соляной кислотой с последующим окрашиванием пикриновой кислотой [4].

Количество серебра определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7700х ICP-MS.

Для всех показателей было рассчитано стандартное отклонение и коэффициенты корреляции с использованием программы Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Максимальный урожай клубнеплодов был собран с опытных делянок 5-го варианта (в котором применяли препарат с концентрацией серебра 50 мг/л и ПАВ 800 мг/л), а самый низкий получен в варианте 4 (Ag 25 мг/л и концентрацией ПАВ 800 мг/л) (табл. 1).

Меньший урожай, чем на Контроле, был получен только в варианте с использованием препарата наносеребра с концентрацией 25 мг/л.

Качество урожая оценивали по доле содержания в нём клубней, диаметр которых превышал 25 мм (согласно ГОСТ 7176-85 размер клубней по наибольшему поперечному диаметру должен быть не менее 25 мм, чтобы его можно было реализовывать как товарную продукцию). Этот показатель сильно варьировал между вариантами (табл. 1).

1. Урожай картофеля по вариантам опыта (т/га) и доля в нём кондиционного картофеля

Варианты опыта	Урожай картофеля по вариантам опыта, т/га	Содержание картофеля менее 25 мм в диаметре, в % от урожая
Контроль	10,75	5,4
ПАВ 800	5,44	41,5
ПАВ 1600	11,18	4,2
Ag 25 + ПАВ 800	8,49	12,4
Ag 50 + ПАВ 800	12,05	4,6
Ag 100 + ПАВ 1600	10,24	7,9
НСР _{0,95}	2,6	0,7

В варианте ПАВ 800 при самой маленькой урожайности практически половина клубней оказалась по диаметру меньше 25 мм. А в варианте Ag 50 + ПАВ 800, где был получен самый высокий урожай, доля «некондиционного» картофеля была минимальной. Таким образом, добавление в раствор для обработки серебра, сильно повлияло на кондиционность клубней.

Результаты, полученные по таким показателям качества клубней, как содержание водорастворимых сахаридов, крахмала, белка и нитратов, представлены в табл. 2.

2. Содержание водорастворимых сахаридов, крахмала, белка и нитратов в клубнях

Варианты	Водорастворимые сахариды	Крахмал	Белок	NO ⁻³
	%			мг/кг
Контроль	0,74	11,03	1,06	195,32
ПАВ 800	0,64	13,94	0,81	209,29
ПАВ 1600	0,67	14,70	1,14	275,90
Ag 25 + ПАВ 800	0,57	13,66	0,95	331,70
Ag 50 + ПАВ 800	1,13	12,24	0,93	269,62
Ag 100 + ПАВ 1600	1,35	15,57	1,08	219,16
НСР _{0,95}	0,02	0,64	0,02	3,15

Отмечено заметное увеличение содержания водорастворимых сахаридов при использовании высоких концентраций препарата наносеребра (50 и 100 мг/л).

Для зрелых клубней картофеля характерно невысокое содержание моносахаридов. Этот показатель, как правило, варьирует от 0,5%, до 1,5%. Значения ниже 0,5% можно считать низкими. Вместе с тем высокое содержание простых сахаров (более 1,5%) считается негативной характеристикой продукта. В первую очередь это влияет на срок годности клубней после сборки урожая, во вторых содержание сахаров негативно влияет на вкусовые качества картофеля.

Самое высокое содержание крахмала отмечено в клубнях картофеля на варианте Ag 100. Это согласуется с данными по определению содержания сахаридов в картофеле. Отмечена корреляция между содержанием сахаридов и крахмала в клубнях. Возможно, это объясняется процессами ассимиляции.

Содержание нитратов не рассматривалось нами как биохимический

показатель зрелости или стадии развития. По этому показателю оценивали безопасность продукции (сравнивая с ПДК). Согласно постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 14 ноября 2001 г. № 36 “О введении в действие санитарных правил”, концентрация нитратов в клубнях картофеля не должна превышать 250 мг/кг сырого картофеля.

Содержание нитратов было высоким во всех вариантах, в трёх из них превышало ПДК (табл. 2). Максимальное количество нитратов обнаружено в варианте (Ag 25 + ПАВ 800), где был получен невысокий урожай мелких клубней.

Важнейший показатель качества картофеля – содержание в нём белка. Картофельный белок питательный и ценный для человеческого организма. Его биологическая ценность определяется наличием в нем аминокислот, в том числе незаменимых [6] (Карманов, 2010). Этот показатель незначительно варьировал по вариантам опыта. Самое высокое содержание белка отмечено на вариантах Контроль, ПАВ 1600 и Ag 100. Самое низкое отмечено на варианте ПАВ 800. Максимальный разброс между самым высоким и самым низким показателем составил 33%, максимальное значение не превышало 1,15%, что ниже, чем этот показатель у клубней, при выращивании растений в благоприятных условиях (табл. 2).

Концентрация серебра в клубнях картофеля колебалась от 0,5 мг/кг до 0,7 мг/кг (на варианте Ag25 + ПАВ800). Эти значения соответствуют кларку серебра в почве и не опасны для человека [7].

Заключение

Фолиарное внесение наносеребра и ПАВ в разных концентрациях значимо увеличило урожай картофеля во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Максимальным был урожай на варианте Ag 100 и превышал в полтора раза урожай, полученный на контроле. Содержание нитратов в клубнях было высоким, а в вариантах ПАВ 1600, Ag 25 + ПАВ 800 и Ag 50 + ПАВ 800 превышало ПДК.

Обработка растений высокими концентрациями наносеребра (50 и 100 мг/л) увеличивала в растениях содержание водорастворимых сахаридов. В клубнях картофеля на всех вариантах опыта отмечено невысокое содержание крахмала, лишь в вариантах ПАВ 1600 и Ag 100, оно было на 2 - 4% выше, чем в контроле. Самое высокое содержание белка отмечено в варианте ПАВ 1600, при этом самое низкое – в варианте ПАВ 800. Фолиарная обработка растений наночастицами серебра не повлияла на этот показатель (по сравнению с контролем).

Литература.

1. Бугара И.А., Желдак С.Н. Исследование влияния композиции наносеребра на морфобиологические параметры проростков кукурузы// Science Time. – 2015. – № 7. – С. 19.
2. <http://bator.ru/10-stran-liderov-v-proizvodstve-kartofelya>.
3. Руднев Г. В. Агрометеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 308 с.
4. Практикум по агрохимии/под ред. Минеева В. Г. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
5. <https://studopedia.info/1-37253.html>
6. Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В. Урожай и качество картофеля. – М.: Россельхозиздат, 1998. – 167 с.
7. Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений: учеб. для студентов биол. специальностей. – СПб: Изд-во «DEAN», 2005. – 254 с.

Оценка рисков возделывания зерновых культур на почвах с полиметаллическим загрязнением

Большева Т.Н.¹, Касатиков В.С.², АбакарАбдулай Умар¹

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, ф-т почвоведения,

² ВНИПТИОУ, Владимирская обл.

Одним из основных путей утилизации осадков сточных вод (ОСВ) является их использование в качестве органического удобрения. Систематическое применение осадков на одном месте в течение длительного времени может повысить уровень содержания тяжелых металлов (ТМ) в почве до критического уровня. На почвах, загрязненных ТМ не рекомендуется выращивать овощные и зеленные культуры, хотя предполагается, что выращивание зерновых культур на фураж может быть весьма перспективным [1]. В ряде работ зарубежных исследователей отмечается, что ячмень, озимая пшеница и рожь накапливают тяжелые металлы в основном в корнях и зеленой массе, факторы окружающей среды и свойства почвы могут оказывать решающее влияние на поступление тяжелых металлов в надземные органы растений. Во многих случаях на сильнозагрязненных ТМ почвах, в репродуктивных органах содержание поллютантов находилось на экологически безопасном уровне [1, 2, 3, 4, 5]. Для снижения поступления тяжелых металлов из загрязненных почв в товарную часть растений традиционно применяется известкование и внесение разнообразных сорбентов (цеолиты, биоуголь, гуминовые препараты) [6]. Для очистки почв от загрязнения ТМ используется приём фитоэкстракции, но он требует подбора определенных культур для конкретных почвенно-климатических условий, также следует отметить, что период полной очистки почв может занимать десятки лет [7]. В литературе имеются отрывочные сведения о поведении ТМ в системе почва-растение на почвах, длительное время удобрявшихся ОСВ, то есть при последствии этих удобрений. Не известно, существует ли риск загрязнения сельскохозяйственной продукции ТМ при последствии ОСВ.

Целью исследования являлось изучение рисков получения загрязненной продукции злаковых культур на почвах загрязненных ТМ в результате длительного применения ОСВ при использовании химической мелиорации и фиторемедиации.

Исследования проводились в полевом опыте Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института органических удобрений (ВНИПТИОУ) (Владимирская обл., пос. Вят-

кино), заложенном в 1984 г. Схема опыта представлена в табл. 1. ОСВ в дозах 15 и 120 т на га были внесены 10 раз, раз в 5 лет проводилось известкование почвы доломитовой мукой в дозах 3 и 10 т на га. В севообороте выращивался ячмень – сорт "Зазерский - 85", клевер красный - сорт "Московский 1" 2-х лет пользования озимая рожь сорта Эстафета Татарстана. С 2001 года ОСВ не применяли, в опыте начали возделывать растения-аккумуляторы тяжелых металлов, в 2006 году было проведено известкование и севооборот был возобновлен. В 2016 году возобновили внесение ОСВ.

В применявшихся в опыте ОСВ кадмий являлся основным загрязнителем, его содержание превышало допустимые для ОСВ нормы в 2,6 - 4,8 раза, содержание Zn, Cu и Pb в ОСВ не превышало ПДК для этого вида удобрений. Валовое содержание Pb в пахотном горизонте почвы (0 - 20см) после десятикратного внесения ОСВ (2001 г.) превысило ОДК (в 1,4 раза) только на вариантах с применением максимальной дозы осадков. За период проведения фиторемедиации валовое содержание Pb в пахотном горизонте почвы снизилось в среднем на 20 - 27%, причём в меньшей мере оно снизилось на вариантах, где применялись высокие дозы извести.

После десятикратного внесения ОСВ (2001 г.) на варианте с минимальной дозой осадка валовое содержание Cd составляло 10,2 ОДК, на варианте с применением 120 т/га – 44,6 ОДК. За шесть лет последствий с 2001 по 2007 год валовое содержание кадмия на фоне извести 3 т/га снизилось на 28,4%, и на 39,5%, при внесении дозы 120 т/га ОСВ. На фоне 9 т/га извести валовое содержание кадмия в меньшей. Таким образом, при использовании более высокой дозы извести, пахотный горизонт почвы в меньшей мере подвергался самоочищению.

Содержание свинца в зерне ячменя и ржи превышает ПДК как при прямом действии ОСВ, так и в последствии (табл. 1). Для ячменя наметилась тенденция к снижению поступления свинца в зерно на фоне обеих доз извести, но более эффективной была доза извести – 9 т/га. При выращивании ржи не наблюдалось достоверного влияния дозы извести на накопление ТМ в зерне.

В зерне всех исследовавшихся зерновых культур содержание кадмия превышало ПДК как при прямом действии ОСВ, так и через несколько лет после прекращения применения этого нетрадиционного органического удобрения (табл. 1). Величина дозы извести незначительно влияла на поглощение данного элемента. Следует подчеркнуть, что после прекращения применения ОСВ происходит увеличение поступления кадмия в растения, что связано с минерализацией ОСВ, что делает кадмий

50

более доступным для растений. В 2016 году под рожь был внесен осадок сточных вод и содержание кадмия в зерне резко упало, а на варианте с высокой дозой извести оно было ниже ПДК. Данный эффект можно связать с увеличением органического вещества в почве, что приводило, в свою очередь, к связыванию кадмия в комплексные соединения и снижало поступление его в растения ржи. И так при прямом действии содержание кадмия в ячмене составило 6 - 25 ПДК, а в последствии 85-190 ПДК. То есть после минерализации органического вещества ОСВ кадмий становится более биодоступным, а известкование не может снизить поступление этого элемента в растения.

1. Содержание тяжелых металлов в зерне растений при прямом действии и последствии ОСВ (мг/кг сухого вещества)

Варианты	Ячмень, 1997		Ячмень, 2008		Ячмень, 2014		Рожь, 2016	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
Контроль	0,1	0,1	0,02	0,1	0,04	0,3	0,012	0,12
ОСВ 150т/га + 3т/га изв.	0,2	1,5	1,7	1,2	0,4	2,4	0,09	1,12
ОСВ 1200т/га + 3т/га изв.	0,4	2,2	3,9	1,8	4,8	4,0	0,98	2,0
ОСВ 150т/га + 9т/га изв.	0,1	0,8	1,8	1,0	0,4	0,4	0,01	1,62
ОСВ 1200т/га + 9т/га изв.	0,5	1,6	2,2	1,3	2,4	4,8	0,01	1,93
ПДК, мг/кг	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2

Таким образом, при последствии ОСВ риск получения загрязненной ТМ продукции зерновых культур возрастает. Регулярное известкование не позволяет снизить до безопасного уровня содержание ТМ в зерне. Почвы, на которых применялись ОСВ длительное время обладают негативными экологическими свойствами: после окончания применения ОСВ биодоступность ТМ для зерновых культур возрастает. Особое внимание должно уделяться загрязнению зерна кадмием, содержание которого может увеличиваться в разы.

Литература.

1. Kulkarni CP. Assessment of heavy metals in vegetables and cereals collected from local market, Mumbai. International Journal of Food Science and Nutrition.2017, v. 2; Issue 6; pp. 71-74

2. BrunettiG., Soler-RaviraP., FarragK., SenesiN. Heavy metals accumulation and distribution in durum wheat and barley grown in contaminated soils under Mediterranean field condition. 2012, Journal of Plant Interactions, v.7(2); pp.160-174.
3. SulymanY.I., AbdulrazakS., OniwapeleY.A., Ahmad Ahmad. Concentration of heavy metals in some selected cereals sourced within Kaduna state, Nigeria. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT).2015,v.9, pp. 17-19.
4. GramG., Voigt K-D. Gradual Accumulation of Heavy Metals in an Industrial Wheat Crop from Uranium Mine Soil and the Potential Use of the Herbage. Agriculture 2016, v.6, 51; pp 20-25.
5. Бутырин М.В. Особенности фитоэкстракции тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений и их использование в технологии ремедиации загрязненных почв Предбайкалья. Тюмень, 2016, Автореферат на соиск.степ. к.б.н. 24 с.
6. МотузоваГ.В.Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. – М. : Академический Проект ; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
7. Большеева Т.Н., Валитова А.Р. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами в результате длительного применения сточных вод. Экологическая агрохимия. – М.: МГУ, 2011. – С. 112–132 с.

Эффект селенита натрия на развитие проростков семян овса на разных типах почв

Королев П.С.^{1,2}, Кирюшина А.П.^{1,2}, Карпунин М.М.¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения;

² Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова, РАН, Москва

Необходимость селена для произрастания растений на настоящий момент доказана не полностью. По биохимической классификации селен принято считать «частично эссенциальным» элементом. При этом нельзя до конца исключить биологическую потребность высших растений в селене, так некоторые из них способны фиксировать селен из атмосферы и почвы в виде диметилселена. Эффект селеновых удобрений на растения в значительной степени, вероятно, зависит от основных характеристик почв. Однако степень зависимости поглощения селена растениями от применяемых доз удобрений в разных почвах исследована недостаточно.

Необходимость селена для произрастания растений на настоящий момент доказана не полностью. По биохимической классификации [1] селен принято считать «частично эссенциальным» элементом. В работах E.G. Bollard утверждается, что потребность растений в селене крайне незначительная [2]. При этом нельзя до конца исключить биологическую потребность высших растений в селене, так некоторые из них способны фиксировать селен из атмосферы и почвы в виде диметилселена [3]. Основная функция селена как микроэлемента состоит в осуществлении антиоксидантной активности. Помимо этого, присутствие селена в почве способствует лучшему усвоению основных макроэлементов [4, 5]. Эффект селеновых удобрений на растения в значительной степени, вероятно, зависит от основных характеристик почв. Однако степень зависимости поглощения селена растениями от применяемых доз удобрений в разных почвах исследована недостаточно.

Целью данной работы было сопоставление эффекта селенита натрия на ростовые характеристики овса при его выращивании на разных типах почв в модельном эксперименте.

Материалы и методы. Объектом исследования служили растения овса посевного (*Avena sativa* L.). Исследование действия селена на высшие растения проводили в лабораторно-вегетационном опыте с использованием двух типов почв: чернозем Воронежской области (Ч) и дерново-подзолистая почва (ДП), отобранная на территории УОПЭЦ

Чашниково. Селен в почву вносили в виде водного раствора соли селенита натрия из расчета 10, 20 и 40 мг на кг почвы. Морфометрическую обработку проростков семян овса проводили спустя две недели после закладки опыта. По окончании эксперимента растения собирали, взвешивали, высушивали и определяли содержание селена в зеленой массе и образцах почвы. В почве и в растительной биомассе методом ИСП определяли содержание основных макро- и микроэлементов. Проводили стандартный агрохимический анализ почв и определяли селен в почве и в растениях для выявления степени корреляции между этими показателями.

На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты корреляции между концентрацией селена в растениях овса и в почве.

Полученные результаты. Почвы опыта характеризовались повышенным содержанием основных макроэлементов (табл. 1), что объясняется высокой степенью окультуренности. Анализ полученных данных биомассы показал, что наиболее эффективным было применение селенита натрия в концентрации 40 мг/кг на дерново-подзолистой почве, так как прирост зеленой массы растений в данном варианте составлял 44%. Необходимо отметить, что содержание гумуса в данной почве было в среднем 1,3%. Молодые растения овса хорошо отзывались на внесение селенита натрия, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции между средней длиной проростков и содержанием селенита натрия в почве, равным 0,94.

При выращивании овса на черноземе во всех вариантах биомасса была выше по сравнению с дерново-подзолистой почвой, так как более высокое содержание органического вещества в первом случае благоприятно воздействовало на ростовые процессы овса. Однако эффект от внесения селена на черноземе был ниже: рост биомассы всего на 13% в варианте 10 мг/кг Se (рис. 1). Соединения селенита натрия поглощались органическим веществом почвы и практически не оказывали воздействие на изменение длины проростков овса (коэффициент корреляции составлял - 0,96).

Выводы

Изучено воздействие селенита натрия на ростовые характеристики проростков семян овса при выращивании на разных типах почв. Проанализирована зависимость между концентрациями селенита натрия и морфометрическими данными овса. Продемонстрировано, что оптимальная концентрация селенита натрия для обработки почвы при выращивании овса составляет 40 мг/кг.

Авторы благодарят В.А. Терехову и П.В. Учанова за помощь в работе.

1. Агрохимическая характеристика образцов дерново-подзолистой почвы (ДП) и чернозема обыкновенного (Ч) в вариантах опыта с разным количеством селена

Тип почвы и количество внесенного селена, мг/кг	Содержание гумуса, %	NH_4^+ , мг/кг	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг
ДП Контроль 0	1,30	131,44	58,11	399,58
ДП 10	1,40	73,11	56,41	266,55
ДП 20	1,26	69,22	74,51	346,66
ДП 40	1,16	41,22	53,02	298,41
Ч Контроль 0	5,49	98,00	92,55	265,1
Ч 10	5,99	92,56	41,13	389,03
Ч 20	6,70	89,44	53,04	455,97
Ч 40	4,92	64,56	42,29	228,01

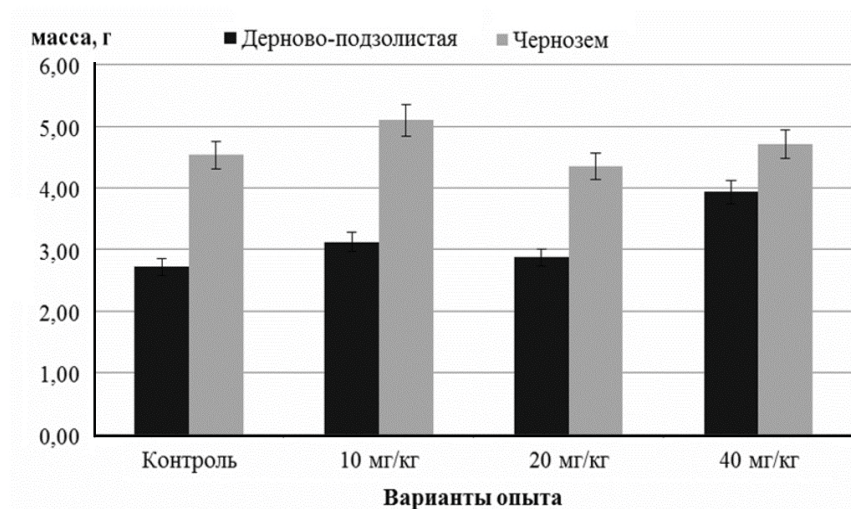


Рис. 1 Зелёная масса растений овса *Avena sativa* L., выращенных на дерново-подзолистой почве и черноземе при разном содержании селена (мг/кг) в модельном эксперименте.

Литература.

1. Pais I. Criteria of essentiality beneficiality and toxicity of chemical elements // Acta alimentaria. Budapest. 1992. Vol. 21. №2. P. 145-152
2. Bollard E.G. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition // Inorganic plant nutrition. Eds. A. Lauchli, R.L. Bicleski. Encyclopedia of plant physiology, New Series. Berlin: Springer Verlag, 1983. V. 15B. P. 695-744.
3. Marscher, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Edition. / H. Marschner // Academic Press. – 2011. – 672 p.
4. Воронина Л.П., Кирюшина А.П., Ксенофонтов А.Л., Тимофеева А.В., Голубкина Н.А. Влияние селена на содержание азота в растениях и аминокислотный состав надземных органов ячменя // Агрoхимия, 2018. № 9. С. 20-28
5. Торшин С.П., Ягодин Б.А., Удельнова Т.М., Голубкина Н.А., Дудецкий А.А. Влияние микроэлементов Se, Zn, Mo при разной обеспеченности почвы макроэлементами и серой на содержание Se в растениях яровых пшеницы и рапса // Агрoхимия. 1996. №5. С. 54-64.

Влияние некорневых подкормок на минеральный состав плодов яблони и водный режим деревьев

Леоничева Е.В.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область

Представлены результаты изучения влияния некорневых подкормок соединениями калия, кальция и бора на показатели элементного состава плодов яблони, характеризующие их потенциальную лёжкоспособность, а также на элементный состав листьев и побегов, характеризующий условия минерального питания деревьев. Исследования показали, что отдельные и совместные некорневые подкормки яблони соединениями бора, калия и кальция оказывают существенное влияние на содержание в плодах калия, кальция, магния (соотношения между которыми отражают потенциал лёжкости яблок). Установлено, что некорневые обработки соединениями бора, калия и кальция оказывают достоверное влияние на накопление магния и фосфора, поступающих в растения из почвы; эффект от обработок одними и теми же веществами (либо их сочетаниями), зависит от метеоусловий вегетационного периода и нагрузки деревьев урожаем. Выявлено, что значимое влияние листовых удобрений на поступление минеральных элементов в ткани плодов и листьев может быть связано с воздействием некорневых подкормок на процессы водного обмена в растениях яблони.

Некорневые подкормки являются распространённым агротехническим приёмом, особенно широко используемым при выращивании многолетних растений, в том числе плодовых и ягодных культур. Популярность листовых удобрений в плодоводстве связана с технологическими трудностями внесения удобрений в почву под многолетними насаждениями и отсроченным на месяцы, а иногда – на годы, эффектом от изменения условий почвенного питания. Считается, что некорневые подкормки являются способом мобильного регулирования продуктивности и качества плодовой продукции [1,2].

В настоящее время на рынке агрохимикатов представлены десятки разнообразных коммерческих препаратов для проведения некорневых подкормок, имеющих в своем составе либо одно действующее вещество, либо комплекс растворимых соединений макро- и микроэлементов. Такие моноэлементные листовые удобрения, как мочевины, растворимые соединения калия, кальцийсодержащие препараты, соединения бора,

цинка, используются в плодоводстве более полувека, их эффективность подтверждена практикой, и регламенты их применения хорошо разработаны.

В последние десятилетия появилось новое поколение фолиарных удобрений. Эти комплексные препараты содержат набор из нескольких питательных элементов, часто – в сочетании с другими биологически активными компонентами (аминокислотами, фитогормонами, гумусовыми веществами и пр.) [1]. Применению этих удобрений при выращивании плодовых культур посвящено значительное количество научных публикаций. Как правило, авторы таких исследований испытывают предлагаемые производителями регламенты применения препаратов с целью оценки их эффективности и подбора оптимальных концентраций и сроков применения для конкретных агроэкосистем, в то время как ряд теоретических аспектов применения некорневых подкормок смесями большого количества веществ остаётся неразработанным.

Проблемы возможного взаимодействия элементов, поступающих на поверхность растения в виде катионов и анионов при обработках минеральными комплексами, изучены недостаточно. При изучении эффективности отдельных и совместных некорневых обработок соединениями двух питательных элементов установлено, что сочетание двух элементов в составе удобрительной смеси не всегда обеспечивает ожидаемый суммарный положительный эффект. Публикации о результатах исследований, посвящённых взаимодействию трёх и большего количества веществ, одновременно наносимых на поверхность растения в виде некорневых подкормок, – очень редки и недостаточно информативны.

В лаборатории агрохимии ФГБНУ ВНИИСПК в полевом опыте в течение пяти лет (2011-2015 гг.) изучалось влияние отдельных и совместных некорневых подкормок борной кислотой, сульфатом калия и хлористым кальцием на накопление калия, кальция и магния в плодах двух помологических сортов яблони. Количество и соотношение этих элементов в значительной мере определяют устойчивость плодов к физиологическим заболеваниям в процессе хранения [1, 3].

Исследования проводились в садовом массиве ФГБНУ ВНИИСПК (Орловская область) с деревьями яблони сортов Имрус и Синап Орловский. Сад заложен в 1992 г., схема посадки 6×3 м. Система содержания почвы в междурядьях – залужение, в рядах – гербицидный пар. Почва опытного участка – тёмно-серая лесная среднесуглинистая на лессовидном суглинке, подстилаемом доломитовыми известняками,

благодаря чему профиль почвы насыщен обменными соединениями кальция и магния. Агрохимические показатели в слое 0-20 см: pH_{KCl} – 5,16; Нобщ.– 4,22 мг-экв/100г, гумус – 4,61%, подвижный P_2O_5 – 170 мг/кг, обменный K_2O – 152 мг/кг.

Для опрыскивания использовались соединения бора, калия и кальция наиболее часто рекомендуемые для некорневых подкормок яблони [1, 2], имеющие простой химический состав и содержащие, по возможности, только один питательный элемент. Варианты опыта: 1. Контроль (обработка водой); 2. H_3BO_3 - 0,1%; 3. K_2SO_4 - 0,3%; 4. $CaCl_2$ - 1%; 5. $H_3BO_3 + K_2SO_4$; 6. $H_3BO_3 + CaCl_2$; 7. $K_2SO_4 + CaCl_2$; 8. $H_3BO_3 + K_2SO_4 + CaCl_2$. Деревья обрабатывались пятикратно за период вегетации в фазы: «розовый бутон», «полное цветение», «опадение лепестков», «гречкий орех» и за 30–40 дней до съема плодов. Повторность опыта 3-х кратная, в варианте 6 учетных деревьев. Площадь делянки 36 м², размещение делянок рендомизированное.

При диагностировании потенциальной устойчивости плодов яблони к физиологическим расстройствам при хранении раздельный анализ минерального состава кожицы и мякоти считается более эффективным [3]. Содержание кальция и магния в кожице и мякоти плодов съёмной зрелости, а также в листьях определялось трилонометрическим методом после сухого озоления, калия – на пламенном фотометре. Содержание свободной и связанной воды в листьях определялось рефрактометрически в 30% растворе сахарозы по Окунцову - Маринчик.

Раздельные и совместные некорневые подкормки яблони всеми изучаемыми соединениями оказали существенное влияние на содержание в тканях плодов яблони калия, кальция и магния. При этом влияние опрыскиваний в значительной мере зависело от метеоусловий, нагрузки деревьев урожаем и сортовых особенностей.

У сорта Имрус некорневые подкормки в большей степени изменяли содержание калия и магния в мякоти плодов, чем в кожице. В плодах Синапа орловского концентрация этих двух элементов под влиянием опрыскиваний изменялась большей частью в кожице, а не в мякоти. Все варианты опыта оказывали влияние на концентрацию кальция в тканях плодов Синапа орловского (известных своей восприимчивостью к горькой ямчатости, связанной с недостатком кальция), но в разные годы одни и те же обработки имели противоположный эффект. Наблюдавшиеся сортовые различия могли быть связаны с неодинаковой скоростью транспорта элементов в тканях плодов изучаемых сортов, с особенностями их водного режима, а также с различной потребностью сортов в элементах минерального питания.

Наличие калия либо кальция в составе удобрений не гарантировало увеличения концентрации соответствующих элементов в тканях плодов. Имели место существенные различия в содержании калия, кальция и магния между плодами, обработанными отдельными веществами, либо – смесями.

В годы, когда плоды обоих сортов отличались наименьшим содержанием изучаемых элементов (2012 г. – наименьший уровень калия, 2013 г. – самый низкий уровень кальция и магния), некорневые подкормки либо вообще не влияли на содержание соответствующих элементов в тканях плодов, либо способствовали дополнительному снижению показателя. Одной из причин этого может быть перераспределение дефицитных элементов в пользу листьев, синтетические процессы в которых усиливаются при некорневых подкормках.

Раздельные и совместные некорневые подкормки 0,1% H_3BO_3 , 0,3% K_2SO_4 и 1% CaCl_2 оказывали влияние на концентрацию в тканях плодов магния, поступающего из почвы. Под действием внекорневых обработок содержание магния в плодах, как правило, увеличивалось. Все варианты опыта, за исключением обработок сульфатом калия, приводили к существенному увеличению уровня магния в мякоти плодов Имруса хотя бы в один год проведения исследований. Содержание магния в тканях плодов Синапа орловского в значительно меньшей степени изменялось под действием некорневых подкормок. Только в 2014 г. значимое увеличение концентрации элемента в мякоти отмечено при обработках сульфатом калия и смесью $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CaCl}_2$.

Результаты исследований показали, что опрыскивания отдельными веществами либо смесями усложняют естественные процессы формирования элементного состава плодов.

Наблюдавшееся в нашем опыте значимое влияние метеоусловий на элементный состав яблок позволило предположить, что влияние листовых удобрений на поступление калия, кальция и магния в плоды может быть связано с влиянием опрыскиваний на водный режим растений. Некорневые подкормки приводят к быстрому увеличению концентрации питательных элементов в надземной части растений и, как следствие, могут влиять на скорость и направленность многих физиологических процессов, в том числе - процессов водного обмена.

В результате проведённых в 2014 - 2015 гг. исследований выявлено значимое влияние некорневых подкормок на показатели водного режима изучаемых сортов яблони.

У сорта Имрус в высокоурожайном 2014 г. в период засухи наблюдалось наибольшее влияние некорневых подкормок на оводнённость листьев. Некорневые подкормки в неблагоприятных

условиях среды (за исключением варианта с обработками K_2SO_4) приводили к снижению оводненности листьев на 1,8 - 3,0% по сравнению с контролем. Наиболее заметное действие на этот показатель оказали обработки $CaCl_2$.

У сорта Синап орловский в оба года исследований мы наблюдали значимого влияния некорневых подкормок на фракционный состав воды в листьях. При этом в 2014 г. обработки фолиарными удобрениями приводили к существенному снижению доли связанной воды и увеличению свободной, а в 2015 г. наблюдался противоположный эффект.

Неоднозначное действие обработок можно объяснить тем, что в высокоурожайном 2014 г., когда все синтетические процессы в растении были направлены на формирование и рост плодов, дополнительные количества питательных элементов, поступающие в листья при некорневых подкормках, сразу использовались растением. Активность метаболических процессов при этом возрастала, о чём свидетельствует увеличение содержания свободной воды в листьях. В малоурожайном и более засушливом 2015 г. элементы минерального питания, поступающие в листья при опрыскивании, не были немедленно задействованы в метаболических процессах, что могло привести к возрастанию вязкости протоплазмы клеток, т.е. увеличению доли связанной воды.

Таким образом, влияние листовых удобрений на поступление минеральных элементов в ткани плодов может быть связано также с их воздействием на процессы водного обмена в растениях яблони, которое у изучаемых нами сортов проявлялось в изменениях оводнённости листьев, фракционного состава воды и величины водного дефицита.

Литература

1. Трунов, Ю.В. Биологические основы минерального питания яблони. Минеральное питание и удобрение яблони. - Воронеж: Кварта, 2013. - 428с.
2. Fageria, N.K. Foliar fertilization of Crop Plants / N.K. Fageria, M.P. Barbosa Filho, A. Moreira, C.M. Guimarães // Plant Nutrition. – 2009. - Vol. 32, Issue 6. - p. 1044-1064.
3. Webster, D.H. Mineral composition of apple fruits. Relationships between and within peel, cortex and whole fruit samples / Can. J. Plant Sci. 1981, V.61, P. 73-85.

Влияние различных систем удобрения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Белозёров Д.А.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В.Верецагина

Уровень урожайности озимой пшеницы в Вологодской области 20,9-37,6 ц/га нельзя считать достаточным [1], так как он далеко не реализует возможности этой культуры, а частая гибель её посевов делает производство зерна озимой пшеницы в Нечерноземной зоне неустойчивым. При несоблюдении оптимальной агротехники, особенно в неблагоприятные годы, происходит изреживание и гибель посевов озимой пшеницы [2].

Наибольшая продуктивность зерновых культур достигается при создании оптимальных условий для роста и развития растений. Этого можно достигнуть при использовании интенсивных технологий их возделывания. Цель таких технологий – получение планируемой урожайности зерна высокого качества путем планомерного управления производственным процессом, обеспечивающим оптимальное питание растений через подбор и внедрение оптимальной системы удобрений.

Объекты и методы исследований. Целью настоящего исследования являлось изучение влияния различных систем удобрения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы Московская 56 в условиях Вологодской области.

Двухфакторный полевой опыт заложен на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА осенью 2014 года в 5-типольном полевом севообороте: викоовсяная смесь – озимая пшеница – ячмень с подсевом клевера лугового – клевер луговой - овёс. Опыт развёрнут в пространстве на трёх последовательно вводимых полях. В настоящей статье приводятся результаты по 1-му и 2-му полям севооборота. Площадь делянок – 100 м², повторность – трёхкратная, размещение вариантов – систематическое. Варианты опыта (фактор В): 1 – контроль (без удобрений); 2 – органическая система (навозный компост - 50 т/га); 3 – минеральная (NPK эквивалентная по д.в. вар. 2); 4 – органоминеральная (навоз 25т/га + ½ NPK), в сумме эквивалентная вар. 2; 5 - органоминеральная (навоз + NPK), в сумме двойная доза по сравнению с вар. 2; 6 – органоминеральная с использованием органоминерального удобрения (ОМУ), гранулы которого модифицированы биологическим препаратом «БисолбиФит»

[3]. Все системы удобрения изучаются на двух фонах (фактор А): известкованном (при рН_{KCl} 5,8-5,9) и без внесения CaCO₃ (рН_{KCl} 5,1-5,2) и уравновешены по азоту.

Органические и известковые удобрения вносили в занятом викоовсяном пару под вспашку. Минеральные удобрения в дозе N30P30K60 осенью до посева и N50 весной в подкормку в период возобновления весенней вегетации озимой пшеницы.

Посев озимой пшеницы сорта Московская 56 селекции Московского НИИСХ «Немчиновка» проводили механизировано сеялкой ССНП-1,8 из расчёта 5,0 млн. всхожих семян/га. Уборку – сплошным методом комбайном Samro Terrion 2010. Урожайность семян приводили к стандартной 14% влажности [4].

Технологические свойства зерна озимой пшеницы определяли в лаборатории технологии и биохимии зерна ФГБНУ «Московский НИИСХ «Немчиновка» по таким показателям как стекловидность, белок, сырая клейковина и ИДК согласно ГОСТ10840–64 [5].

Почвы 1-го и 2-го поля севооборота – дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые, развитые на покровном суглинке со следующими агрохимическими показателями пахотного слоя (до закладки опыта): повышенной обеспеченностью гумусом – 3,1%, слабокислой реакцией среды - рН_{сол} 5,1-5,2, высоким содержанием подвижного фосфора – 261 мг/кг и средним – калия (125 мг/кг по Кирсанову). Величина гидролитической кислотности составляла 3,47 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощённых оснований – 11,2 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями – 76% [6].

Результаты учета урожайности подвергали статистической обработке по модели двухфакторного дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [7].

Метеорологические условия в годы проведения опыта существенно различались. Так, 2016г. был слабозасушливым, 2017г. – избыточно увлажнённым с пониженным температурным фоном.

Обсуждение результатов. Контрастные погодные условия существенно отразились на урожайности озимой пшеницы. Благоприятный режим увлажнения и повышенный температурный фон 2016 года способствовали равномерному наливу и созреванию семян, что позволило добиться высокой урожайности зерна озимой пшеницы (рис. 1).

При урожайности в контрольном варианте 30,4-36,8 ц/га применение изучаемых систем удобрения достоверно повышало урожайность зерна озимой пшеницы. Наибольшая прибавка урожайности по

отношению к контролю была получена на известкованном фоне в вариантах с органоминеральными системами удобрения: навоз + NPK, ОМУ+бисолбифит, навоз 25т/га + ½ NPK – 31,0-38,8 ц/га.

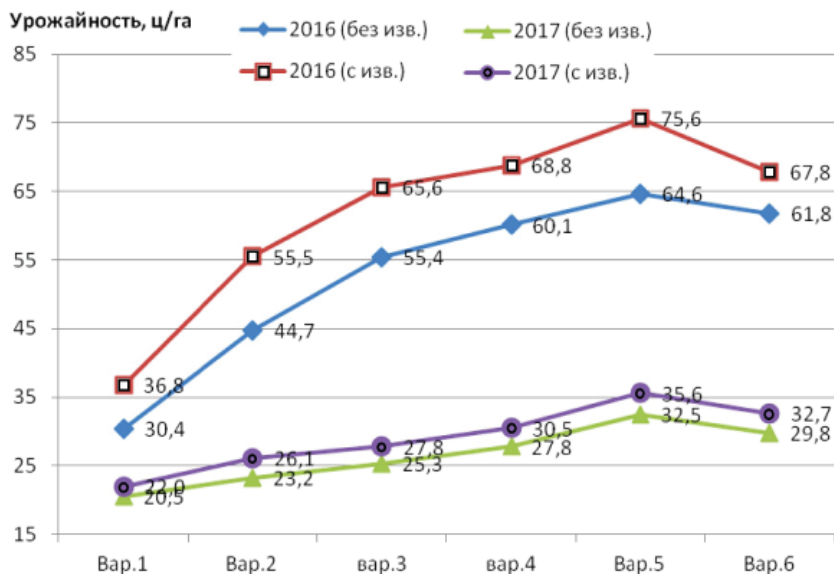


Рис. 1. Влияние различных систем удобрения на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 56, ц/га в 2016-2017 году

Из-за избыточного переувлажнения корнеобитаемого слоя почвы в условиях пониженного температурного фона в 2017 году была получена значительно меньшая урожайность по сравнению с 2016 годом (рис. 1).

Так, урожайность в варианте без внесения удобрений, колебалась на уровне 20,5-22,0 ц/га. Достоверные прибавки получены в 3-6 вар., кроме органической системы удобрения. Наибольшая урожайность была отмечена также как и в 2016 году при органоминеральных системах – 27,8-35,6 ц/га. Известкование обеспечивало дополнительную прибавку зерна в зависимости от системы удобрения и складывающихся метеорологических условий на 3,5-10,8 ц/га.

Таким образом, в 2016-2017 годах наилучшие результаты показывают органоминеральные системы удобрения на известкованном фоне.

Исучаемые системы удобрения оказывают существенное влияние на качество зерна и муки озимой пшеницы (рис. 2 и 3).

Зерно с содержанием белка, сырой клейковины и индексом ИДК

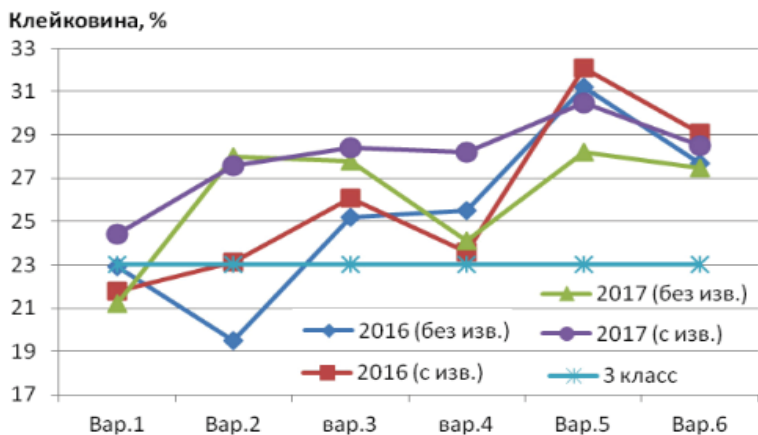
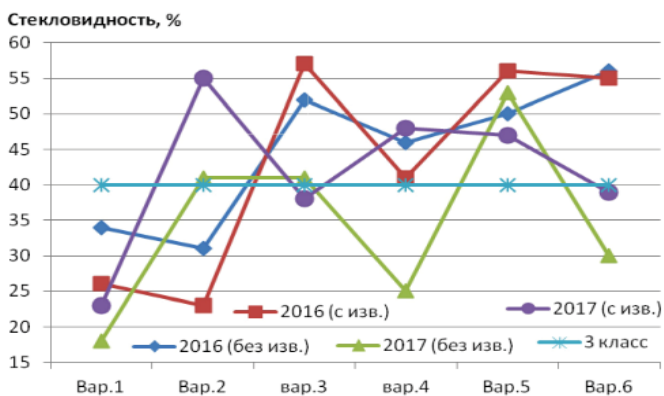
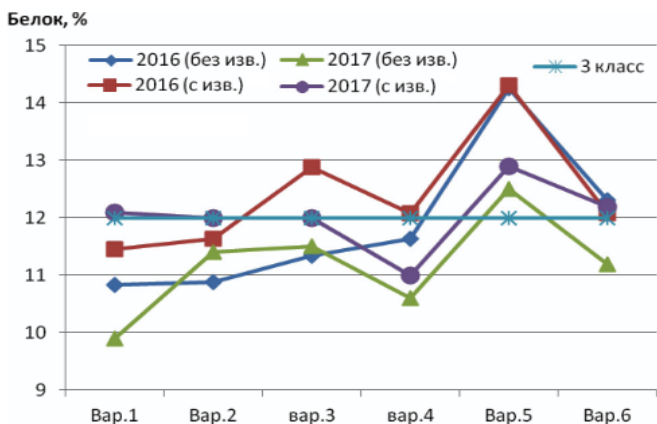


Рис. 2. Влияние систем удобрения на качественные показатели зерна озимой пшеницы сорта Московская 56 в 2016-2017 гг.

ИДК, ед.пр.

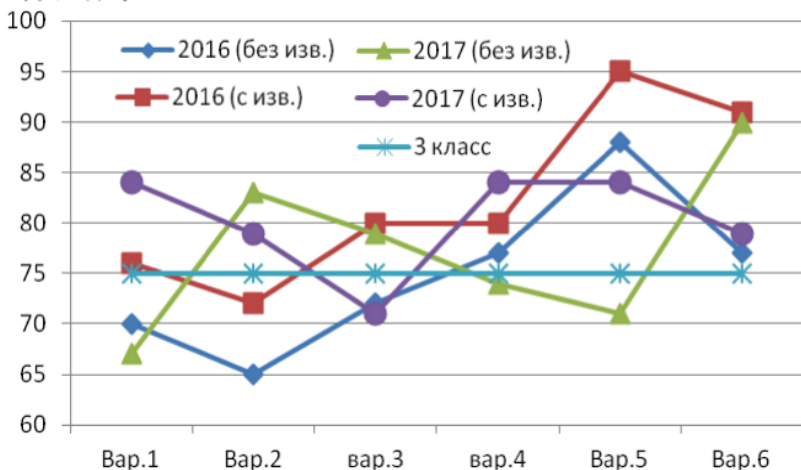


Рис. 3. Влияние систем удобрения на качественные показатели муки озимой пшеницы сорта Московская 56 в 2016-2017 гг.

для 3 класса озимой пшеницы, нормируемым ГОСТ Р 52554-2006, при разных уровнях рН, было получено при органо-минеральной системе удобрения (навоз, 50 т/га + NPK) во все годы исследований. Следует отметить, что стекловидность зерна тесно коррелирует с содержанием белка и существенно увеличивается при смешанной системе применения удобрений. Применение биомодифицированного органо-минерального удобрения (ОМУ+БисолбиФит), производства Буйского химического завода, способствовало сопоставимому повышению качества зерна, особенно на известкованном фоне. Другие системы удобрения оказывали неустойчивое влияние на содержание белка в зерне озимой пшеницы, а также другие показатели в разные по метеорологическим условиям годы.

Заключение. Таким образом, в условиях Вологодской области возможно получение зерна озимой пшеницы 3 класса при урожайности 35,6-75,6 ц/га за счёт подбора оптимальной системы удобрения на основе органических и минеральных удобрений на фоне известкования.

Литература

1. Белозёров, Д.А. Влияние различных систем удобрения на урожайность озимой пшеницы в условиях Вологодской области/ Д.А.Белозёров // Аграрная наука и инновации в работах молодых ученых: труды Всероссийского совета молодых ученых и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. –

М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 204 с. .

2. Конончук, В.В. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания при разных погодных условиях в Центральном Нечерноземье / В.В. Конончук, В.Д. Штырхунов, С.М. Тимошенко, С.В. Соболев, Т.О. Назарова // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - № 9. - С. 73-77.

3. Налиухин, А.Н. Эффективность биологической модификации гранул органоминеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур / А.Н. Налиухин, О.А. Власова, О.В. Силуянова // Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: сборник науч. трудов межд. научно-практ. конф.: СПбГАУ. - СПб., 2016. - С. 67-70.

4. Налиухин, А.Н. Эффективность органических и минеральных удобрений при известковании дерново-подзолистой почвы / А.Н. Налиухин, Г.Е. Мерзлая, А.С. Максимова, Д.А. Белозеров, А.В. Ерегин // Плодородие. - 2018, № 2 (101). - С. 42-45.

5. ГОСТ Р 52554-2006 Пшеница. Технические условия. - М.: Стандартиформ, 2006.

6. Налиухин, А.Н. Почвы опытного поля ВГМХА имени Н.В. Верещагина и их агрохимическая характеристика / А.Н. Налиухин, О.В. Чухина, О.А. Власова // Молочнохозяйственный вестник. - 2015. - № 3 (19). - С. 35-46.

7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

Экологическая оценка применения фосфоритов на каштановых почвах

Убугунов Л.Л.¹, Энхтуяа Б.², Меркушева М.Г.¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
г. Улан-Удэ, merkusheva48@mail.ru

²Государственный сельскохозяйственный университет,
Дархан, Монголия

*Дана оценка безопасного экологического срока применения
фосфоритов на каштановых почвах Северной Монголии
по содержанию микроэлементов в почве и фосфоритах.*

*Установлено, что необходимо не превышать дозы их внесения, а
также проводить периодический контроль за содержанием F, Sr,
Ni и As.*

Повышение продуктивности агроэкосистем является важнейшим условием сохранения биосферы. Основным средством, увеличивающим продуктивность агроценозов, служат удобрения. Экологическим вопросам их применения посвящены многие работы академика В.Г. Минеева (Минеев, 1988; Минеев, Гомонова, 2012; Минеев и др., 2015; и т.д.) и для этих же целей создание им журнала «Проблемы агрохимии и экологии».

Монголия обладает огромными запасами фосфоритов, качество их по всем показателям экологической безопасности высокое, т.е. для их использования не требуется специальная обработка, кроме активации.

Удобрительная эффективность активированного (Раф) и сыромолотого (Рф) фосфоритов (на фоне НК) под яровую пшеницу на каштановых почвах Северной Монголии изучена ранее (Энхтуяа и др., 2014). Стандартом для сравнения служил суперфосфат (Рсг). Применение Раф улучшало структуру урожая, повышало содержание белка, клейковины и фосфора в зерне, объем и выход хлеба по сравнению с контролем и фоном. Положительное действие Рф проявилось в основном на накоплении клейковины и фосфора в зерне. Наибольшая урожайность зерна получена при внесении Раф, практически равнозначная – Рсг. Активированный фосфорит (на фоне НК) по интенсивности превращения почвенных минеральных фосфатов не уступал Рсг и на градицию выше способствовал накоплению подвижного фосфора в каштановых почвах (Убугунов и др., 2015). Использование Рф поддерживало исходное содержание минеральных фосфатов в почве. Выявлены оптимальные параметры количества подвижного

фосфора и суммы рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция в пахотном горизонте, способствующие получению наибольшей и стабильной урожайности зерна яровой пшеницы при внесении Раф. Удобрительная эффективность Раф связана с наличием в каштановых почвах фосфатмобилизирующих бактерий, способствующих активизации фосфатаз и накоплению подвижного фосфора, нитратов и обменного калия в большей степени, чем суперфосфата (Меркушева и др., 2008).

В фосфоритах разного происхождения выявлена широкая вариабельность содержания микроэлементов, что может оказать значительное влияние на экологическое состояние почв как базового компонента агроэкосистемы (табл. 1).

1. Микроэлементный состав фосфоритов разного происхождения, мг/кг

Элемент	Монголия, Хубсугуль-ское месторождение	Монголия, Бурианхан-ское месторождение	Перу, Марокко, Тунис, США, Алжир, Израиль, Сенегал, Сирия, Того	РФ, Сейбинское месторождение	РФ, Обладжан-ское месторождение	РФ, Софроновское месторождение
Sr	450–1660	769–1068	1228	397 (318–509)	439 (121–1102)	83
B			330		18,7 (12–24)	
Cr	9–100	28–52	176	79 (45–139)	56 (12–190)	83,7
V	10–150	55–150	121	361 (112–551)	114 (35–300)	41
Mn	78–980	142–280	102	1062 (588–1463)	1062 (232–2167)	928,8
U	1,5–32	23–38	82	37,3 (22,8–58,3)	82 (42,7–120,8)	9,5
Ni	23,8–175	57–65,6	25,9	184 (118–256)	82 (15–236)	123
Cd	1,6	2,5	23,1	31,5 (10–63)	6,4 (0,5–27)	45
Cu	15–57	43–52	20,9	201 (107–393)	69 (11–216)	161
Zn	10–80	52–98	20	980 (600–2500)	237 (92–539)	2729
Mo			17,1	He опр.	1,0 (0,8–1,5)	10,3
As	7–22,4	29	12,1	8,6 (2,0–26,1)	21,1 (8,2–49,6)	4,75
Pb	3–20	11–23	7,4	9,3 (6–20)	27 (20–48)	55,67
Co	12,8–100	6,5–35,7	6,6	9,2 (2–20)	3,8 (0–11)	33,3
Se			5,6			4
Th	2,8–11	4,8–10	3,4	1,4 (0,1–3,3)	1,0 (0,4–3,4)	1,9
Sb			1,6	He опр.	1,7 (1,3–3,2)	1,07
Ag			0,97			
Sn			0,88			
Tl			0,7			
Y	182,7	29–290				24,3
F	3000	2200		13900 (8400–17600)	22400 (17100–28400)	17300
Hg	0,27	0,32		3,5 (1,2–9,5)	0,35 (0,13–0,62)	

Концентрации микроэлементов в фосфоритах месторождений разных стран приведены по: Монголии (Гурин, Гурин, 2006), гипергенных карстовых фосфоритах Сейбинского и Обладжанского месторождений юга Сибири (Занин и др., 2000), кальциевых фосфоритах Софроновского месторождения на Полярном Урале (Занин и др., 2009), а также усредненные показатели их содержания месторождений Перу, Марокко, Туниса, США, Алжира, Израиля, Сирии, Сенегала и Того (Bech et al., 2010; Altschuler, 1980; Charter et al, 1995; Gulbrandsen, 1966; Kromblekou, Tabatabai, 1994; Samb, 2002; Van Kauwenbeg, 1997; Weissberg, Singers, 1982).

Микроэлементный состав каштановых почв характеризуется региональными особенностями (табл. 2), обусловленными в основном минералогическим (преимущественно полевые шпаты и кварц) и гранулометрическим составами (супесчаный и легкосуглинистый).

2. Содержание микроэлементов в каштановых почвах (слой 0-20 см) Северной Монголии и Забайкалья, мг/кг

Элемент	Северная Монголия	Забайкалье (Иванов, 2007)
Mn	752	760
Ti	7100	7210
Li	21,7	22
Zn	53	87
Cu	21	24
Cr	55,8	55
Cd	0,14	0,12
Co	12,5	9,8
F	400	610
V	96	95
Hg	0,016	0,01
Pb	18	34
Mo	0,53	2,8
B	17,5	16
Sn	2,6	
Ni	28,8	28
Ag	0,061	
Ge	1,45	
Ba	996	875
Sr	449	
As	4,6	

Однако, учитывая, что каштановые почвы отличаются невысокой буферной устойчивостью к тяжелым металлам (Меркушева, Убугунов, 2002), была проведена экологическая оценка воздействия фосфоритов на содержание микроэлементов в каштановой почве после 5-летнего внесения разных форм фосфоритов под яровую пшеницу (табл. 3). Существенных достоверных изменений содержания микроэлементов в почве по сравнению с контролем и фоном практически не отмечено.

3. Содержание микроэлементов в каштановой почве после 5 лет внесения разных форм фосфорита, мг/кг

Вариант	Zn	Mo	B	Cu	Pb
Контроль без удобрений	53,0	0,53	17,5	21,0	19,0
N60K60 (фон)	53,0	0,48	17,5	27,5	18,0
Фон + Pсг	61,5	0,57	20,5	28,0	20,0
Фон + Раф	44,5	0,44	15,5	22,0	16,5
Фон + Рф	56,5	0,54	21,0	29,5	19,0

Для экологической оценки возможной допустимой продолжительности применения фосфоритов на каштановых почвах Северной Монголии использована формула расчета количества лет (Занин и др., 2000, 2009):

$$T = (C_{дп} - C_{п}) m / C_{у} n ,$$

где T – количество лет внесения удобрений до достижения в почве ПДК элемента; $C_{дп}$ – ПДК элемента в почве; $C_{п}$ – содержание элемента в почве в настоящее время; m – масса почвы, принятая равной 3×10^6 кг/га; $C_{у}$ – количество элемента в фосфорном удобрении; n – ежегодное поступление фосфорного удобрения в почву в кг/га.

Учитывая реальное содержание микроэлементов в каштановых почвах, а также для сопоставления допустимой продолжительности применения фосфоритов месторождений Монголии с имеющимися в литературе (Занин и др., 2000; Занин и др., 2009), в настоящей работе приняты величины ПДК: Zn – 300, Cu – 100, Cd – 3, Co – 50, F – 500, V – 150, Hg – 2.1, Pb – 32, Mo – 5, Sr – 600, Ni – 50, Mn – 1500, As – 20 и B – 25.

Расчеты были проведены для ежегодного внесения 60 кг действующего вещества P_2O_5 на гектар фосфоритов и суперфосфата. Учитывали минимальное и максимальное содержание элемента в удобрениях.

Несмотря на определенную условность, расчеты подтвердили высокую экологичность фосфоритов месторождений Монголии, используемых в качестве удобрений (табл. 4).

4. Экологическая оценка допустимой продолжительности внесения фосфоритов в каштановые почвы, количество лет

Элемент	Бурэнханское месторождение	Суперфосфат простой	Хубсугульское месторождение
Zn	59375–31505	205833–164666	308750–38593
Cu	22965–18990		65833–17324
Cr	19732–10625		61389–5525
Cd	14300	35750–13619	22343
Co	72115–13130		36621–4687
F	568	1000	417
V	12272–4500		67500–4500
Hg	81406		96481
Pb	23863–11413	70000–23333	58333–8750
Sr	2454–1767		4194–1137
Ni	4649–4039	6666	1134–1514
Mn	65845–33393	11642	119872–9541
As	6638	30800	27500–8594

Экологическая оценка применения фосфоритов Софроновского, Обладжанского и Сейбинского месторождений на степных почвах Хакассии (Занин и др., 2000; Занин и др., 2009) показала более короткие сроки достижения элементами ПДК по сравнению с нашими данными. Это обусловлено не столько повышенными концентрациями отдельных элементов в фосфоритах, сколько большей дозой их внесения, 2000 кг/га один раз в 5 лет. Авторы приводят следующие рассчитанные сроки (в годах): F – 33-22, Ni – 965-330, Cd – 2635-667, Mn – 5375-785, Cu – 7560-2632, Zn – 6710-1627, V – 3295-1038, Cr – 3905-2811, As – 2550-6264, Pb – 4160-12917, Mo – 14596, Sb – 16265, B – 23810, Hg – 41570-4145.

Таким образом, при использовании фосфоритов месторождений Монголии на каштановых почвах необходимо не превышать дозы их внесения, а также проводить периодический контроль за содержанием F, Sr, Ni и As.

Список литературы

1. Гурин В.Н. Исследование качественного состава фосфоритов Буренханского месторождения и разработка экологически чистой технологии их переработки // Вчені записки. Збірник Харківського інституту управління, Харків. – 2006. – Вип. 9. – С. 11–23.

2. Занин Ю.Н., Гавшин В.М., Писарева Г.М. Микроэлементы в гипергенных карстовых фосфоритах юга Сибири: опыт экологической геохимии // Геология

и геофизика. – 2000. – № 5. – С. 722–732.

3. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Микроэлементы в фосфатных породах Софроновского месторождения на Полярном Урале: особенности распределения и экологическая оценка // Литосфера. – 2009. – № 6. – С. 95–106.

4. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. – 239 с.

5. Меркушева М.Г., Убугунов В.Л. Оценка буферной способности почв Забайкалья к тяжелым металлам // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М., 2002. – С. 302.

6. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Болонева Л.Н., Нимаева М.Б., Мангатаев Ц.Д., Бадмаев А.Б. Фосфатмобилизующие микроорганизмы как биологические активаторы удобрений из агроруд // Плодородие. – 2008. – № 1. – С. 23–24.

7. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. – М.: МГУ, 1988. – 285 с.

8. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф. Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 23–31.

9. Минеев В.Г., Едемская Н.Л., Карпова Е.А. Особенности динамики соединений меди в агроценозах на дерново-подзолистых почвах при длительном применении удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 4. – С. 3–19.

10. Убугунов Л.Л., Энхтуяа Б., Меркушева М.Г. Содержание подвижных минеральных соединений фосфора в каштановых почвах Северной Монголии при использовании разных форм фосфорита // Почвоведение. – 2015. – № 6. – с. 731–739.

11. Энхтуяа Б., Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г. Влияние разных форм фосфорита на урожайность и качество зерна яровой пшеницы на каштановой почве Северной Монголии // Агрохимия. – 2014. – № 5. – 47–53.

12. Altschuler Z.S. The geochemistry of trace elements in marine phosphorites. Part I. Characteristic abundances and enrichment // Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. – 1980. – No 29. – P. 19–30.

13. Bech J., Reverter F., Tume P., Sanchez P., Delgado R., Suarez M., Lansac A. and Roca N. Trace elements in phosphorites of different provenance // 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. – P. 120–124.

14. Charter R.A., Tabatabai M.L., Schafer J.W. Arsenic, molybdenum, selenium and tungsten contents of fertilizers and phosphate rocks // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – Vol. 26. – 17–18, 1995. – P. 3051–3062.

15. Gulbrandsen R.A. Chemical composition of phosphorites of the Phosphoria Formation // Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 30, 1966. P. 769–778.

16. Kpromblekou A.K., Tabatabai M.A. Metal contents of phosphate rocks // Communications in Soil Science and Plant Analysis. Vol. 95, 17–18, 1994. P. 2871–2882.

17. Samb M. Evolution geochimique des phosphates sedimentaires du gisement de Fobene (Senegal) implications pour l'exploitation industrielle // Journal des Sciences. – Vol. – 2, 2, 2002. – P. 68–74.
18. Van Kauwenberg S.J. Cadmium and Other Minor Elements in World Resources of Phosphate Rock. – 1997. – 41 pp.
19. Weissberg B.G., Singers W.A. Trace elements and provenance of phosphate rocks // New Zealand Journal of Science. – Vol. 25. – 1982. – P. 149–154.

Анализ возможных путей повышения коэффициента эффективности минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры

Соболева О.А.

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», г. Брянск

В статье рассмотрены важность и обоснованность применения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Показана роль элементов (азот, фосфор, калий) в жизни растений. Приводятся пути повышения эффективности применения азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Указываются агротехнические и экологические требования при их внесении в почву.

Большое число исследований, проводимых в настоящее время, направлены на решение вопросов по обеспечению продовольственной независимости страны, повышению конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутреннем и внешнем рынках, экологизации агропроизводства.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что не менее 50% прироста урожаев сельскохозяйственных культур получают за счёт применения минеральных удобрений. По статистическим данным, каждый третий житель планеты получает питание за счёт продукции, полученной от использования удобрений. Эффективность минеральных удобрений проявляется почти во всех почвенно-климатических зонах нашей страны, хотя и в неодинаковой степени [1].

На эффективность удобрений большое влияние оказывают: природные и агротехнические условия, подбор дозы удобрения, срок и способ внесения удобрения. За счёт дороговизны использования удобрений, следует соблюдать все указанные критерии. Неправильное их применение может привести к отрицательным последствиям, таким как:

- ♦ неоправданные экономические затраты;
- ♦ ухудшение качества продукции (накопление нитратов в плодах; повышенные дозы азота снижают содержание сахара в сахарной свекле, крахмала в картофеле и т.д.);
- ♦ загрязнение почв, водоемов, грунтовых вод.

Одним из важнейших элементов питания растений является азот: он входит в состав белков (16-18% их массы), составляющих прото-

плазмы растительных клеток; входит в состав нуклеиновых кислот (РНК и ДНК), имеющих важную роль в обмене веществ в организме и передаче наследственных функций; является составной частью хлорофилла, ферментов, выполняющих роль катализаторов во многих окислительно-восстановительных процессах растений.

Увеличение урожайности у зерновых, кормовых и овощных культур с применением азотных удобрений происходит за счёт роста ассимиляционного листового аппарата, у плодовых – за счёт увеличения размера плодов, повышения их числа, усиления дифференциации плодовых почек и уменьшения осыпания плодов.

Коэффициент использования азота из удобрений составляет в среднем 40-50%.

Азотные удобрения наиболее эффективны в районах достаточного увлажнения. Каждая тонна азота дает дополнительно 10-15 т зерна, 30-40 т корнеплодов сахарной свеклы, 40-50 т кочанов капусты, 20-30 т сена луговых трав, 2 т льноволокна [1].

Повышение эффективности азотных удобрений связано с улучшением культуры земледелия: отсутствие засоренности, благоприятные водно-воздушные и тепловые режимы почв, оптимальное содержание других питательных элементов в почве, посев высокопродуктивных сортов культур, применение интегральной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

К аналогичному выводу пришли авторы [2], изучая эффективность азотных удобрений в рисоводстве. За счёт совершенствования технологии внесения азотных удобрений, применения ингибиторов нитрификации, медленнодействующих азотных удобрений, регуляторов роста растений, и сеникация посевов можно добиться увеличения урожайности зерна риса и снижения загрязнения окружающей среды.

Фосфор в растениях существует в двух формах: органической (в форме нуклеиновых кислот, содержащих до 80% фосфора, фосфатидов, фитана, сахарофосфатов и др.) и минеральной (играют важную роль в создании буферной системы клеточного сока и служат резервом для образования органических фосфорсодержащих соединений). Фосфор имеет большое значение в энергетическом обмене и в разнообразных процессах обмена веществ в растительных организмах: участвует в углеводном, азотном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания, брожения.

Содержание фосфора в растениях колеблется от 0,2 до 1,5%, больше всего его в бобовых и технических культурах (1,0-1,4%), меньше всего

в овощных и кормовых культурах (0,01-0,05%), зерновые занимают промежуточное положение (0,6-0,8%).

Эффективность фосфоритной муки повышается с увеличением тонины помола. Этот факт особенно актуален для почв (оподзоленные и выщелоченные черноземы) с недостаточной кислотностью для разложения этого удобрения до усвояемых растениями соединений. По стандарту, минимум 80% частиц должны быть фракции 0,18 мм.

Некоторые растения (люпин, эспарцет, горчица, гречиха, горох и конопля) могут усваивать фосфор фосфоритной муки при нейтральной реакции почвенного раствора. Доказано, что кислые выделения корней этих растений сильно подкисляют почву, оказывая растворяющее действие на трехзамещенный фосфат и способствуя его переводу в усвояемую форму (CaHPO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$).

Большинство растений (все злаки лён, свёкла, картофель) могут использовать фосфорит только при определенной кислотности почвы, достаточной для его разложения. Поэтому на почвах с нейтральной реакцией (обыкновенные, типичные и южные черноземы) применение фосфоритной муки малоэффективно. Напротив, на кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, красноземах и выщелоченных черноземах она не уступает суперфосфату.

Таким образом, основным фактором, определяющим эффективность фосфоритной муки, является кислотность почвы.

Под влияние угольной и органических кислот при минерализации органической массы фосфор из фосфоритной муки переходит в дикальцийфосфат (преципитат) CaHPO_4 , из которого фосфор более доступен растениям, чем из фосфоритной муки $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$:



Поэтому растворимость фосфоритной муки повышается при совместном внесении ее в виде компостов с навозом, торфом, физиологически кислыми удобрениями.

Для увеличения содержания подвижного фосфора в кислых почвах применяют фосфоритирование – внесение высоких доз фосфоритной муки (1-3 га), это также способствует снижению кислотности почвы. Это входит в комплекс мероприятий по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП).

На эффективность фосфорных удобрений оказывает большое влияние такой фактор, как глубина заделки в почву. Так как анионы фосфорной кислоты передвигаются в почве очень слабо, их необходимо вносить в нижний увлажненный слой почвы.

Физиологические функции калия в растении многообразны: он повышает обводненность, набухаемость, вязкость коллоидов цитоплазмы, что имеет большое значение для процессов обмена веществ в клетках и для повышения устойчивости растений к засухе. Калий оказывает влияние на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов, образование органических кислот в растении, участвует в углеводном и азотном обмене.

В отличие от азота и фосфора, калий не входит в состав органических соединений в растении, а находится в растительных клетках в виде растворимых солей в клеточном соке и в непрочных адсорбционных комплексах с коллоидами цитоплазмы.

Коэффициент использования калия из минеральных удобрений в зависимости от культур изменяется от 25-35 до 80%.

Внесение 1 ц K_2O обеспечивает прибавку с 1 га 2-3 ц зерна, 20-30 ц картофеля, 1-1,5 ц льноволокна, 20-30 ц сена сеяных трав и 8-18 ц сена луговых трав [1]. Установлено, что на дерново-подзолистых почвах особенно эффективны удобрения на картофеле, подсолнечнике, капусте, льне, клевере и некоторых других культурах. Все формы калийных удобрений обеспечивают примерно одинаковый уровень урожайности.

Известно, что на песчаных и супесчаных почвах калий обеспечивает прибавки выше, чем фосфорные удобрения. Особенно эффективны калийные удобрения на фоне азота и фосфора [3].

На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава калийные удобрения необходимо вносить с осени под зяблевую обработку. Их размещают в более влажном слое почвы, где развивается основная масса деятельных корней, следовательно, калий усваивается растениями лучше. На легких почвах с низкой емкостью погощения катионов калийные удобрения целесообразно вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Работа [4] доказывает, что обеспеченность чернозёма выщелоченного усвояемыми формами азота, фосфора и калия улучшается под посевами сои при внесении минеральных удобрений в течение всего периода её вегетации.

Таким образом, можно сделать общий вывод. Коэффициент эффективности минеральных удобрений зависит от ряда факторов:

- географические закономерности их действия;
- комплекс агрономических и мелиоративных мероприятий, применяемых в севообороте или под конкретную культуру;
- научно обоснованная технология применения удобрений (дозы, сроки, способы, формы);

- совершенствование форм минеральных удобрений;
- использование наиболее эффективных методов диагностики применения удобрений.

Список литературы

1. Михайлова Л.А. Агрохимия: курс лекций: Ч. 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.
2. Шхапацев А.К. Азотные удобрения и способы увеличения их эффективности в рисоводстве // Новые технологии. – 2006. – №2. – С. 48-52.
3. Алешин М.А., Михайлова Л.А., Мудрых Н.М., Акманаева Ю.А. Эффективность использования нового калийного удобрения – калия хлористого электролитного при возделывании пропашных и яровых зерновых культур // Пермский аграрный вестник. – 2013. – Т. 4. – №4. – С. 100.
4. Онищенко Л.М. Обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными формами азота, фосфора и калия в зависимости от норм минеральных удобрений вносимых под сою // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – № 32. – С. 105-118.

**Применение ростстимулирующей ризобактерии
для повышения устойчивости растений к токсическому
действию кадмия при загрязнении почвы тяжёлым металлом**

Шабаев В.П., Бочарникова Е.А.

*Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН*

По современным экотоксикологическим представлениям кадмий находится на 4-м месте (после Se, Tl и Sb) в ряду наиболее опасных и токсичных для живых организмов элементов. Кадмий является одним из несущественных тяжелых металлов, способных к накоплению не только в корнях, но и в надземных органах растений, в том числе в зерне, вследствие его транслокации в генеративные органы злаков. Это представляет серьезную опасность для здоровья человека. Последнее десятилетие для ремедиации загрязненных тяжелыми металлами почв наблюдается возрастающий интерес к отбору и изучению микроорганизмов, способных существенно влиять на устойчивость культурных растений к тяжелым металлам, в том числе к Cd. При этом, все большее внимание привлекают стимулирующие рост растений ризосферные бактерии, влияние которых на рост и минеральное питание загрязненных Cd растений практически не изучено.

В серии вегетационных опытов, проведенных на искусственно загрязненной водорастворимым соединением Cd серой лесной почве в дозе 10 мг/кг, изучена устойчивость растений ячменя к токсическому действию тяжелого металла при внесении ростстимулирующей ризосферной бактерии *P. fluorescens* 21. Применение данной бактерии стимулировало рост и повышало урожаи зерновых, бобовых, корнеплодных и технических культур. Кроме того, она повышала устойчивость ячменя к фитотоксичности свинца при загрязнении почвы тяжелым металлом, устраняя токсическое действие металла на растения.

Внесение бактерии улучшило рост растений и увеличило массу растений ячменя при загрязнении почвы Cd, обеспечивая при этом получение такой же растительной биомассы в фазу трубкования и массы зерна при полной спелости, как и на не загрязненной почве без бактериальной инокуляции (табл. 1). Таким образом, бактерия полностью устраняла токсическое действие тяжелого металла на растения. Устойчивость растений к токсическому действию Cd при внесении бактерии, которая выражалась в отсутствии негативного

влияния металла на рост надземных органов растений, была обусловлена повышенным ростом корней и уменьшением концентрации и аккумуляции металла (табл. 1) в корневой системе загрязненных металлом растений. Это свидетельствует об усилении барьерных функций корневой системы инокулированных бактериями растений.

1. Масса растений ячменя и содержание Cd в растениях

Варианты	Сухое вещество, г/сосуд			Cd, мг/кг сухой массы растений	
	опыт 1, фаза трубкования				
	листья + стебли	корни	целое растение	листья	корни
Контроль*	1,99±0,15	0,26±0,04	2,25±0,25	не обнаружено	
Cd без инокуляции бактериями	1,18±0,11	0,24±0,02	1,88±0,10	7	59
Cd + <i>P. fluorescens</i> 21	1,42±0,18	0,33±0,03	2,40±0,35	7	40
опыт 2, полная спелость					
Варианты	зерно	корни	целое растение	зерно	корни
Контроль*	33,60±4,95	3,74±0,56	70,74±11,32	не обнаружено	
Cd без инокуляции бактериями	25,91±3,37	3,67±0,66	59,47±6,55	2	143
Cd + <i>P. fluorescens</i> 21	32,36±4,53	4,40±0,66	74,04±10,37	2	88

Примечания. Контроль* – Без Cd и инокуляции бактериями
Средние ± отклонение от средней. То же в табл. 2, 4.
Ошибки определений содержания Cd не превышали 15%.

Бактерия уменьшала концентрацию Cd только в корневой системе растений, тогда как она не оказывала влияния на этот показатель в надземных органах растений, в том числе в зерне. Это, вероятно, происходило вследствие того, что Cd, обладает высокой биодоступностью и способностью конкурировать с различными ионами за обменные позиции в молекулах различных соединений, в составе которых поступает в растительную клетку через транспортные мембраны, независимо от применения бактерий, преодолевая физиологические барьеры растений на границах корень–вегетативная масса и вегетативная масса–зерно.

Применение бактерии увеличило вынос тяжёлого металла надземными органами растений из почвы в фазе трубкования и суммарной биомассой зерна и соломы (табл. 2), тем самым, усилило процесс

фитоэкстракции и способствовало очистке почвы от тяжелого металла. Это является еще одним положительным свойством данных бактерий в пользу их использования для ремедиации загрязненных Cd почв. Вероятно, как было показано ранее, это происходило вследствие активации физиологических и биохимических процессов в растениях, инокулированных ростстимулирующими бактериями р. *Pseudomonas*. Этот процесс происходил вследствие усиления роста растений, а именно: в результате увеличения надземной растительной биомассы без изменения концентрации Cd в инокулированных растениях.

2. Вынос Cd растениями из почвы

Вариант	Cd в растениях, мкг/сосуд			
	опыт 1, фаза трубкования			
	листья	стебли	листья + стебли	корни
Cd без инокуляции бактериями	8 ± 1	6 ± 1	14 ± 2	15 ± 3
Cd + <i>P. fluorescens</i> 21	9 ± 1	9 ± 2	18 ± 2	13 ± 3
	опыт 2, полная спелость			
	зерно	солома	зерно и солома	корни
	Cd без инокуляции бактериями	52 ± 8	538 ± 81	590 ± 83
Cd + <i>P. fluorescens</i> 21	65 ± 9	634 ± 99	699 ± 91	387 ± 50

Определение фракционного состава соединений Cd в почве в фазе колошения инокулированных бактерией растений методом последовательных селективных вытяжек показало увеличение содержания тяжелого металла во фракции, связанной с органическим веществом почвы, извлеченной пирофосфатом калия (табл. 3). Предполагается, что увеличение содержания Cd в почвенной органической фракции при применении бактерии обусловлено секвестированием металла продуцируемыми флуоресцирующими видами бактерий р. *Pseudomonas* органическими экзометаболитами – сидерофорами, которые, кроме Fe способны хелатировать тяжелые металлы, в том числе Cd. В результате этого образуются нерастворимые комплексы и, вероятно, уменьшается подвижность и токсичность тяжелого металла в почве в зоне всасывания корневой системы растений и снижается его поступление корни.

Внесение бактерии увеличило вынос из почвы питательных элементов загрязненными Cd растениями (табл. 4), не изменяя в них концентраций элементов. Таким образом, этот процесс, также как и для

Cd, происходил вследствие усиления ростовых процессов растений – роста растений – увеличения биомассы инокулированных бактериями растений.

3. Фракционный состав соединений Cd в почве в фазе колошения ячменя. Опыт 3

Вариант	Фракции Cd				
	1	2	3	4	5
Cd без инокуляции бактериями	следы	<u>0.001</u> 1,1	<u>0.014</u> 15,7	<u>0.025</u> 28,1	<u>0.049</u> 55,1
Cd + <i>P. fluorescens</i> 21	следы	<u>0.001</u> 1,1	<u>0.017</u> 19,1	<u>0.020</u> 22,5	<u>0.051</u> 57,1

Примечания. Фракции Cd: 1 – обменная, 2 – специфически сорбированная, 3 – связанная с органическим веществом, 4 – связанная с железистыми минералами, 5 – остаточная (прочно связанная с глинистыми минералами).

Над чертой – ммоль/кг почвы, под чертой – % от внесенного количества. Ошибки определений содержания Cd не превышали 15%.

4. Вынос питательных элементов из почвы суммарной биомассой ячменя при полной спелости. Опыт 2.

Питательные элементы в растениях, мг/сосуд	Варианты	
	Cd без инокуляции бактериями	Cd + <i>P. fluorescens</i> 21
N	594	643
P	139	185
K	838	985
Ca	49	55
Mg	10	13
Fe	11	14
Zn	3,1	3,7
Mn (мкг/сосуд)	3253	4343

Таким образом, устойчивость растений к токсическому действию Cd при внесении ростстимулирующей ризосферной бактерии р. *Pseudomonas* обусловлена:

- усилением барьерных функций корневой системы – повышенным ростом корней и уменьшением поступления металла в корни,
- усилением барьерных функций почвы – увеличением закрепления тяжелого металла в почвенной органической фракции и

в) улучшением минерального питания загрязненных тяжелым металлом растений – выноса питательных элементов растениями из почвы.

Внесение бактерии усилило процесс фитоэкстракции – очистки почвы от тяжёлого металла.

**Оценка состояния
природно-ресурсного потенциала агроценозов,
продуктивности растений, эффективного
управления биохимическими
и микробиологическими процессами**

Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку

Сысо А.И.

ИПА СО РАН

Проблема загрязнения окружающей среды техногенными химическими веществами – одна из актуальнейших для человечества. Из химических элементов-поллютантов для живых организмов наиболее опасны тяжёлые элементы – с атомной массой более 50. Они относятся к тяжелым металлам, металлоидам и неметаллам. Все тяжёлые элементы (Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, Sr, Rb, Te, Tl, V, W, Zn и другие) в высоких концентрациях токсичны для живых организмов. Некоторые из них (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, V, Sb) – приоритетные техногенные загрязнители окружающей среды, быстро в ней накапливающиеся, а потому требующие контроля и гигиенического (экологического) нормирования их концентраций в её компонентах – почвах, растениях, водах, атмосфере.

С биогеохимических и агрохимических позиций Co, Cu, Cr, Mn, Mo, Se, Zn – эссенциальные или биофильные тяжелые металлы-микроэлементы, жизненно важные и абсолютно-незаменимые для живых организмов в нормальных и низких концентрациях. К условно-эссенциальным микроэлементам отнесены – Ni, V, Sn, As, Cd, Pb.

Угрозу растениям, животным и человеку от тяжёлых элементов видят в основном от их аномально высоких концентраций в окружающей среде. Такие условия существуют в природных геохимических (металлогенических) аномалиях и образуются антропогенных (техногенных, агрогенных) геохимических аномалиях, при загрязнении окружающей среды техногенными газопылевыми выбросами, жидкими стоками, твердыми промышленными и коммунальными отходами, минеральными и органическими удобрениями, агроメリорантами, средствами защиты растений и животных, отходами сельхозпроизводства. Последние различаются по составу и концентрации в них тяжёлых элементов, эффектам прямого или опосредованного действия на компоненты биосферы – почвы, растения, воды, животных и человека.

Почвы – первый барьер на пути миграции тяжёлых элементов в окружающей среде и биогеохимической (пищевой, трофической) цепи, аккумулирующий и инактивирующий техногенные поллютанты. Количество и формы химических соединений тяжёлых элементов в почвах определяют угрозу их избытка, недостатка или дисбаланса для

растений, животных и человека, которую оценивают по гигиеническим, агрохимическим и биогеохимическим нормативам (критериям).

Большая часть тяжёлых элементов поступают в организмы животных и человека с растительной пищей, куда попадают как в результате их биогенного поглощения в ионной форме, так и абиогенного захвата почвенных или техногенных частиц с малоподвижными элементами. Подвижные тяжёлые элементы в почве, доступные живым организмам наиболее опасны для них, а малоподвижные недоступные – менее опасны.

С учётом статуса тяжёлых элементов в почвах, действия на растения и накопления в продукции Чейни (Chaney, 1980) создал группировки по риску опасности загрязнения пищевой цепи.

▶ Ag, Cr, Sn, Ti, Y, Zr, из-за малой растворимости в почве и возможности транслокации растениями, отнесены к первой группе – с низким риском загрязнения пищевой цепи.

▶ Hg, Pb, сильно сорбируемые почвами и слабо перемещающиеся в съедобные ткани растений, отнесены ко второй группе – представляющие минимальные риски здоровью человека.

▶ Cu, Mn, Mo, Ni, Zn, легко усваиваемые растениями, отнесены к третьей группе – фитотоксичных в концентрациях, представляющих небольшой риск для здоровья человека.

▶ As, Cd, Co, Mo, Se, Tl, не фитотоксичных в почвах и тканях растений, в концентрациях опасных для животных организмов, отнесены к четвёртой группе – наиболее опасных для здоровья животных и человека.

В почвах мира содержание тяжёлых элементов зависит от их состава и свойств и варьирует в широких пределах. Значения среднего содержания (кларка) тяжелых элементов в фоновых почвах стран и регионов Земли используют для оценки техногенное загрязнение почв.

В России при оценке загрязнения почв фоновое содержание в них тяжёлых элементов не учитывается, а используются гигиенические нормативы, которые научно плохо обоснованы. Примером служит ПДК мышьяка в почвах – 2 мг/кг, что в 2 раза меньше его кларка в почвах мира.

Изучение валового содержания микроэлементов и тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий Сибири показало нахождение его в пределах агрохимических, биогеохимических и гигиенических норм, экологическую чистоту сельскохозяйственных земель региона.

Даже вблизи крупных промышленных центров Сибири на полях прифермских севооборотов, где вносятся большие дозы органических

и минеральных удобрений, валовое содержание и концентрация подвижной формы тяжёлых металлов в почвах существенно ниже их ПДК (ОДК). При этом подвижность большинства тяжёлых металлов в почвах весьма низкая, говорящая об их нахождении в малоподвижных формах химических соединений, не угрожающих растениям, животным и человеку.

В почвах агроценозов выявлен дефицит подвижной формы меди и цинка, предопределяющий их недостаток растениям и животным.

Многие годы утверждалось, что внесение минеральных удобрений опасно загрязнением почв и растительной продукции тяжёлыми металлами. Однако исследования показали, что эта угроза преувеличена – в российских минеральных удобрениях концентрация тяжёлых металлов невелика.

При оценке угрозы загрязнения тяжёлыми металлами почв сельхозугодий от внесения высоких доз минеральных удобрений доказано, что даже без учета выноса урожаями возделываемых культур поллютантов, потребуются столетия и тысячелетия для повышения их содержания в почвах на 10% – величину, которую можно зафиксировать как загрязнение. А по расчетам В.М. Красницкого для загрязнения почв Омской области тяжёлыми металлами, содержащимися в удобрениях и атмосферных осадках, до уровня ПДК потребуются многие тысячелетия!

И.А. Гайсин доказал, что причиной низкого содержания в почвах тяжёлых металлов-микроэлементов является отрицательных их баланс севообороте. Возможно по этой же причине высока доля почв сельхозугодий с низким содержанием меди и цинка не только в Сибири, но и в Ставропольском крае, Республике Беларусь.

Экологическая чистота почв сельхозугодий Сибири предполагает безопасность произведенной на них растительной продукции.

Установлено, что даже при возделывании кормовых культур с использованием органических и минеральных удобрений в их продукции нет загрязнения тяжёлыми элементами. Напротив, в ней отмечен критически низкий уровень содержания Co, Cu, Mn и Zn, грозящий их дефицитом в пищевой цепи, нарушением здоровью животных и человека.

В целом от тяжёлых металлов в окружающей среде для растений, животных и человека в России существуют следующие угрозы:

1. Тяжёлые металлы угрожают растениям, животным и человеку при высоких концентрациях в окружающей среде, встречающихся только в природных или техногенных геохимических аномалиях.

2. Содержание тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий регионов России и в Беларуси, в основном, не превышает гигиенических нормативов, напротив, угрожает дефицитом растениям меди, цинка, кобальта.

3. В растительной продукции сельхозугодий Сибири концентрации тяжёлых металлов, в основном, гигиенически безопасные, а – Co, Cu, Mn, Mo, Zn грозящие дефицитом в пищевой цепи животным и человеку.

4. Основная угроза человеку от тяжёлых металлов исходит не от их высоких концентраций в окружающей среде, а от дефицита тяжёлых металлов-микроэлементов (Co, Cu, Mn, Mo, Zn) в почвах и растениях сельхозугодий. Сегодня на них актуально применение микроудобрений.

Изучение ферментативной активности почв в длительных опытах с применением агрохимических средств

Егорова Е.В.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Актуальность исследования биологических свойств почв при использовании агрохимических средств на современном этапе доказывает значительное число публикаций в научной литературе. За последние годы особенно активно такие работы ведутся в Китае и ряде других стран.

На кафедре агрохимии (ныне кафедра агрохимии и биохимии растений) МГУ изучение биологических свойств почв (структуры микробоценоза и численности микроорганизмов, нитрификационной способности, ферментативной активности почв (ФАП) в стационарных опытах Агробиологической станции (АБС) (ныне Учебно-опытный почвенно-экологический центр – УОПЭЦ) Чашниково на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности были начаты в середине XX века под руководством академика Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени Ленина (ВАСХНИЛ) Н.С. Авдонина. В веке нынешнем такие исследования на кафедре были продолжены и получили дальнейшее развитие под руководством академика РАН В.Г. Минеева, расширена география исследований.

Данные, получаемые в стационарных опытах, переоценить трудно. Информативность длительных стационарных опытов определяется преимуществом и мониторинговым характером проводимых исследований.

Обобщая опыт изучения ФАП, ряд учёных заключает, что на современном этапе развития науки изучение этого биохимического показателя в агроценозах целесообразно проводить в нескольких направлениях, одно из которых – эколого-ценотическое. Оно предполагает, во-первых, системный подход к изучению ферментативной активности почв при их сельскохозяйственном использовании и, во-вторых, почвенный мониторинг ФАП с учётом оценки действия техногенных нагрузок. Системный подход к изучению активности почвенных ферментов предусматривает переход от изучения отдельных почвенных энзимов к исследованию связей между ФАП и другими свойствами почв. Оценка воздействий многих факторов на ФАП

практически неразрешима без проведения многофакторных или комплексных экспериментов, результаты которых позволят оценить влияние разных факторов на активность изучаемых почвенных ферментов.

Один из аспектов исследований в стационарных опытах на УОПЭЦ (в прошлом – АБС) «Чашников» – изучение биологических свойств дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений (далее опыт 1) и при интенсивном их использовании (опыт 2), как необходимый этап познания совокупности процессов, протекающих в почве в этих условиях. Интегральный показатель состояния биологических процессов в почве – активность почвенных ферментов, влияющих на почвенное плодородие через реакции гидролиза и синтеза различных субстратов.

В опыте 1 активность почвенных ферментов азотного режима изучали в посевах клевера, тимофеевки луговой и кормовых бобов.

Учёт физико-химических свойств почвы позволил сделать вывод об их ухудшении при длительном применении физиологически кислых минеральных удобрений только на не известкованном фоне. Известкование независимо от срока проведения улучшило физико-химические свойства. При этом активность ферментов на удобренных вариантах была ниже, чем на не удобренном контроле. Биологические особенности культур дифференцировали величину ФА.

Опыт 2 был заложен на предварительно известкованной по полной гидролитической кислотности дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. В течение ротации четырехпольного севооборота – однолетние травы – озимая пшеница – кукуруза – ячмень – внесением высоких доз органических, минеральных удобрений и их сочетания были созданы три фона, различающиеся по плодородию.

Изучали непосредственное влияние на активность гидролитических ферментов – уреазы, фосфатазы и инвертазы сверхвысоких доз органических и минеральных удобрений в процессе формирования агрохимических фонов и их последствия.

Наибольшее положительное действие на УА оказали органические удобрения – активность фермента по сравнению с не удобренным контролем возросла в 2,9 раза. Это объясняется сложной ролью органического вещества, которое, с одной стороны, является субстратом для ферментов, с другой – повышает их стабильность в почве.

Прямое действие всех систем удобрений в целом положительно повлияло на активность в почве фермента фосфатазы. Отсутствие снижения активности фермента при внесении высоких доз минеральных удобрений на почвах, слабо обеспеченных фосфором, объясняется

положительным влиянием минеральных удобрений на плодородие и улучшением биологических свойств почвы. Содержание в дерново-подзолистой почве органического фосфора – как источника субстрата для действия энзима может играть для ФА регулируемую роль.

Прямое действие высоких доз органических, минеральных удобрений и их сочетаний оказало слабое положительное влияние на инвертазную активность (ИА) дерново-подзолистой почвы.

Положительное влияние на ФАП оказывало и последствие всех удобрений

По положительному влиянию на УА изученные удобрения можно расположить в следующий убывающий ряд: органические, органические совместно с минеральными, минеральные. Все удобрения способствовали накоплению в почве легкогидролизуемого азота, являющегося источником субстрата для действия уреазы. Связь между этими показателями прямая и достаточно тесная – $r = +0,83$.

По положительному влиянию на ФА последствие изученных удобрений расположились в следующий убывающий ряд: минеральные, минеральные совместно с органическими, органические.

Положительное последствие удобрений на содержание в почве подвижного фосфора сохранилось. Коэффициент корреляции между этим показателем и ФА составил $+0,90$. Степень связи ФА с содержанием органофосфатов в почве слабая ($r = +0,40$). Сделано заключение, что ФА почвы в большей степени зависела от содержания подвижного фосфора, чем органического.

Влияние последствия удобрений на ИА дерново-подзолистой почвы мало отличалось от прямого их действия. Наиболее заметное положительное действие оказывали органические удобрения, внесенные отдельно и совместно с удобрениями минеральными.

Таким образом, в исследованиях на дерново-подзолистой почве показано, что при прямом действии и последствии систематического применения высоких доз органических, минеральных удобрений и их сочетаний ферментативная активность почвы в целом находится в тесной связи с рядом показателей, определяющих почвенное плодородие.

В опыте на типичном среднемощном малогумусном чернозёме при применении органических, минеральных удобрений и комплекса химических средств защиты растений (фундазол, диален, кампазан, пропиконазол (ГИЛТ), метафос) в динамике (отбор почвенных проб по фазам развития озимой пшеницы) изучена активность почвенных ферментов – уреазы, фосфатазы и инвертазы.

Установлено, что фосфатазная и инвертазная активность чернозёма под влиянием пестицидов в динамике практически не снижалась. По мнению ряда исследователей один из факторов самоочищения почвы – её активное воздействие на пестициды посредством ферментов «деградации», которые используют эти химические соединения в качестве аналогов природных субстратов.

На активность уреазы средства защиты растений угнетающее действие оказали в первые периоды развития пшеницы, снизив ее по сравнению с необработанным контролем.

В модельных экспериментах с почвой участков полевого опыта на типичном чернозёме при внесении в сосуды препарата уреазы снижения ее остаточной активности не обнаружено. Сделано заключение, что в полевых условиях удобрения и пестициды могли отрицательно влиять не на фермент уреазу, а на его продуцирование.

Показано, что при внесении в почву модельных опытов фунгицида ТИЛТа в возрастающих дозах степень отрицательного влияния на уреазную активность зависела от дозы, времени контакта с почвой и её удобренности.

Содержание обменных форм калия в почве садового агроценоза яблони при почвенном и фолиарном внесении минеральных удобрений

Столяров М.Е.

*Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, лаборатория агрохимии,
д. Жилина, Орловская область;
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, институт естественных наук
и биотехнологии, г. Орёл*

В данной работе представлены результаты полевого опыта по изучению содержания обменных форм калия в серой лесной почве под молодым яблоневым садом при внесении в почву азотных и калийных удобрений в различных дозах, а также при некорневых подкормках деревьев этими же элементами. В данном опыте применение удобрений в количестве N60K80 и N90K120 привело к увеличению содержания обменного калия в почве садового агроценоза. Отмечено увеличенное содержание обменного калия в вариантах, где внесение удобрений в почву комбинировалось с использованием некорневых подкормок. В частности, применение удобрений в количестве N30K40 привело к достоверному увеличению содержания обменных форм калия в почве только в совокупности с некорневыми обработками и лишь в верхнем слое почвы. Причины данного явления требуют уточнения.

Введение

Минеральное питание является одним из важнейших факторов регулирования роста и плодоношения плодовых деревьев, повышения урожайности и качества плодов, основой создания высокотоварной продукции [1]. При этом калий является одним из наиболее важных биофильных элементов [2], однако механизмы регулирования калийного питания плодовых деревьев до сих пор разработаны недостаточно [3, 4, 5].

Обеспеченность калием растений яблони зависит от природных и агротехнических факторов [6, 7]. Из природных факторов наиболее значимым является содержание доступных форм калия в почве, из агротехнических - применение удобрений. Некоторыми исследователями отмечена положительная корреляция между содержанием обменного калия в почве и урожайностью яблони [8].

В современном садоводстве некорневые подкормки растений являются достаточно популярным средством управления питанием растений [9]. При этом на данный момент вопрос об эффективности некорневых обработок остается предметом для дискуссий [10]. Многие аспекты применения фолиарных удобрений недостаточно исследованы, в том числе соотношение почвенного и некорневого питания при совместном использовании обоих способов применения удобрений. Наряду с биологическим выносом, для оценки потребления растениями питательных элементов из почвы изучают изменение запасов их доступных соединений в корнеобитаемом слое.

Объекты и методы исследований

Цель данной работы – изучить содержание обменных форм калия в серой лесной почве под молодым яблоневым садом при внесении в почву азотных и калийных удобрений в различных дозах, а также при некорневых подкормках деревьев этими же элементами.

Эксперимент проводился в 2015-2017 гг. в полевом опыте по изучению минерального питания яблони на территории насаждений Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (Орловская область), заложенном в 2015 г. по следующей схеме: 1. Контроль (без удобрений); 2. N30K40; 3. N60K80; 4. N90K120 5. Некорневые обработки; 6. N30K40 + некорневые обработки; 7. N60K80 + некорневые обработки; 8. N90K120 + некорневые обработки. Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая. Система содержания почвы – «чёрный пар». Удобрения вносились ежегодно весной в форме гранулированных NH_4NO_3 и KCl на глубину 10-15 см. Некорневые обработки проводились 3 раза за сезон: 1%-м раствором мочевины перед цветением, 1% раствором мочевины и 0,3% раствором сульфата калия в фазу роста «грецкий орех» и 0,3% раствором сульфата калия за месяц до предполагаемого сбора плодов. Плодовые насаждения представлены деревьями яблони сорта Синап Орловский на полукарликовом подвое 54-118, схема посадки – $6 \times 3 \text{ м}^2$, год посадки -2013.

Отбор образцов проводился ежегодно в сентябре. Определение обменного калия осуществлялось по методике Кирсанова.

Повторность опыта – 4х кратная, в варианте 20 учётных деревьев.

Агрохимические показатели почвы опытного участка определялись по общепринятым методикам (ГОСТ 26483-85, 26213-91, 26212-91, Р 54650-2011, 26428-85) и представлены в таблице 1.

1. Агрохимические показатели опытного участка (2014 г).

Глубина, см	pH _{KCl}	Гумус, %	Нобщ. ммоль/ 100 г	Содержание			
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/кг		ммоль ⁺ /100 г	
0...20	5,39	4,61	3,94	146,56	79,72	14,98	4,39
20...40	5,16	3,81	4,22	111,67	88,05	15,59	4,58

Метеоусловия периодов вегетации по годам существенно различались. Данные о количестве осадков, выпавших в течение периода проведения опыта представлены в таблице 2.

2. Количество осадков, выпавших в течение периода проведения опыта, мм

Год \ Месяц	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Σ
2015	23,7	29,2	71,1	1,7	45,8	171,5
2016	46,5	46,5	66,5	64,3	14,0	237,8
2017	56,3	59,6	75,0	100,8	13,7	305,4
Среднеголетние	36,4	65,1	88,0	65,7	65,3	320,5

Как видно из таблицы 2, периоды вегетации 2015 и 2016 года характеризовались относительно засушливыми погодными условиями в сравнении со среднеголетними значениями (сумма осадков за май-сентябрь 2015 года – 171,5 мм, 2016 года – 237,8мм.). В 2017 году выпавшее количество осадков сопоставимо со среднеголетними данными.

Обсуждение результатов

Оценка содержания обменного калия в почве по окончании трёх периодов вегетации отражает существенное влияние минеральных удобрений, вносимых как в почву, так и некорневым способом, на содержание обменного калия в почве садовых агроценозов яблони. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Внесение минеральных удобрений в количестве N30K40 без применения некорневых обработок не привело к существенному изменению содержания обменного калия в почве опытного участка. Однако, содержание обменного калия в варианте с использованием N30K40 в совокупности с некорневыми подкормками в слое 0-20 см было достоверно выше контроля.

3. Содержание обменных форм калия в почве опытного участка
(средние значения за 2015-2017 гг.), мг/кг почвы.

Некорневые обработки Фактор В	Вариант Фактор А	Слой 0 - 20 см			Слой 20 - 40 см		
		Средние по АВ	Средние по А	Средние по В	Средние по АВ	Средние по А	Средние по В
Без обработок	Контроль	77,94	Контроль	Без обработок	65,57	Контроль	Без обработок
	N30K40	94,28	90,23		65,13	69,13	
	N60K80	104,39	N30K40	98,01	75,95	N30K40	68,42
	N90K120	115,44	99,64		67,02	66,08	
Некорневые обработки	Контроль	102,52	N60K80	Некорневые обработки	72,68	N60K80	Некорневые обработки
	N30K40	105,00	109,98		67,03	79,15	
	N60K80	115,58	N90K120	113,35	82,36	N90K120	75,38
	N90K120	130,33	122,88		79,43	73,23	
Средние по слою		105,68			71,90		
		НСР ₀₅ А= 17,72 НСР ₀₅ В= 12,53 НСР ₀₅ АВ= 25,06			НСР ₀₅ А = 8,43 НСР ₀₅ В=5,96 НСР ₀₅ АВ= 11,92		

В целом, исходя из таблицы 3, можно отметить существенный рост содержания обменного калия в почве в вариантах с внесением N60K80 и N90K120.

Использование минеральных удобрений в количестве N60K80 привело к достоверному увеличению содержания обменных форм калия в почве за три года в слое 0-40 см. При этом наибольший эффект достигался при использовании удобрений в почву в количестве N60K80 совместно с применением некорневых обработок.

Внесение удобрений в почву в количестве N90K120 привело к достоверному увеличению содержания обменного калия в слое 0-20 см как с применением некорневых обработок, так и без них. В слое 20-40 см вариант с внесением удобрений в количестве N90K120 оказал достоверное влияние лишь в совокупности с некорневыми обработками.

Как видно из данных, представленных выше, содержание калия в почве опытных делянок, где удобрения вносились как в почву, так и при помощи некорневых обработок, было достоверно выше, чем в вариантах с аналогичной дозой удобрений, но без использования некорневых подкормок. Причина данного явления на данный момент не установлена, но можно предположить, что деревья, получающие дополнительные фолиарные подкормки калием, потребляют меньшее количество элемента из почвы, в результате – накопление обменного калия в ППК при внесении удобрений происходит быстрее.

Выводы

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

- Применение удобрений в количестве N₃₀K₄₀ в нашем опыте привело к достоверному увеличению содержания обменных форм калия в почве только в совокупности с некорневыми обработками и лишь в верхнем слое почвы.
- Применение удобрений в количестве N₆₀K₈₀ и N₉₀K₁₂₀ привело к увеличению содержания обменного калия в почве садового агроценоза.
- Отмечено увеличенное содержание обменного калия в вариантах, где внесение удобрений в почву комбинировалось с использованием некорневых подкормок. Причины данного явления требуют уточнения.

Литература

1. Кондаков А. К. Новая технология удобрения интенсивных садов с применением почвенно-лиственной диагностики питания. – Слаборослое садоводство: – Матер. межд. науч. – практ. конф., 23-24 июня 1999 г. – С. 77-80.
2. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения. Общие вопросы земледелия и химизации. – М.: Колос, 1965. –Т. 3. – 637 с.
3. Трунов Ю. В. Состояние и перспективы развития садоводства в России. Современные подходы к созданию интенсивных насаждений. Актуальные проблемы садоводства: Матер. межд. науч. – практ. конф. – Саратов, 2014. – С. 121-124.
4. Трунов Ю.В., Трунова Л.Б. Достижения и проблемы российской науки в области минерального питания садовых растений // Плодоводство и виноградарство Юга России, 2013. – № 23 (5). – С. 121-130.
5. Столяров М.Е. Динамика обменных форм калия в серых лесных почвах молодого яблоневого сада при внесении минеральных удобрений // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. XXXXVIII. № 2. С. 286–289.
6. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А. Сортвые особенности калийного питания яблони при некорневых подкормках // Садоводство и виноградарство. 2015. № 5. С.35-41.
7. Кондаков, А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур. - Мичуринск. - 2007. - 327 с.
8. Кузин А.И., Трунов Ю.В. Особенности почвенно-лиственной диагностики калийного питания яблони // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. №1. С.16-17.
9. Столяров М.Е. Влияние некорневых подкормок на накопление калия и кальция в плодах яблони // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. Т. 48. № 06. С. 126–134.
10. Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown P. Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2013.

Информативность биомассы как микоиндикационного параметра при некоторых видах техногенных воздействий

Федосеева Е.В.¹, Королев П.С.², Терехова В.А.^{2,3}

¹Российский научно-исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ, Москва;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Кафедра агрохимии и биохимии растений, Москва;

³Институт проблем экологии и эволюции Российской академии наук, Москва

Микроскопические мицелиальные грибы являются неотъемлемым компонентом наземных и водных экосистем, поэтому актуальным является изучение их откликов на различные техногенные воздействия. Несмотря на высокую степень изменчивости, микоиндикационные параметры при определенных видах техногенных воздействий в высокой степени информативны (Терехова, 2007). В этой роли чаще всего выступают структурные показатели сообществ – таксономический состав, доля резистентных меланизированных форм, индексы видового разнообразия грибов. Физиологические и морфологические параметры также изменяются при техногенных воздействиях, однако, с высокой степенью вариабельности. Таким образом, целью данной работы являлась оценка информативности биомассы как микоиндикационного параметра при некоторых видах техногенных воздействий, а именно, внесении тяжёлых металлов и промышленных препаратов гуминовых веществ.

Исследования проводили на трёх штаммах разнопигментированных мицелиальных грибов, принадлежащих к довольно распространенным видам: *Trichoderma harzianum* Rifai; *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl и *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G. A. de Vries (из коллекции кафедры биологии почв Факультета почвоведения МГУ). Грибы выращивали при 22°C на жидкой среде Чапека. Соли цинка и меди в дозах по 5 и 10 ПДК каждого металла (ПДК для вод водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения) вносили в жидкую среду Чапека непосредственно перед посевом грибных культур. Гуминовые препараты из леонардита и лигносульфоната (ГВ(1) и ГВ(2) соответственно) вносили в концентрации 0,02% таким же образом, как и тяжелые металлы. Сухую биомассу определяли взвешиванием мицелия предварительно отфильтрованного от культуральной жидкости и высушенного в сушильном шкафу при 105°C до достиже-

ния постоянного веса. Все эксперименты проводились в пяти повторностях. Полученные данные были статистически проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа-ANOVA.

Результаты показывают, что введение гуминовых веществ (ГВ(1) и ГВ(2)) стимулировало накопление биомассы мицелия при выращивании грибов на жидких средах. Достоверно прослежен стимулирующий эффект после введения 0,02% ГВ в среду с сахарозой 30 г/л: ГВ(2) стимулировал рост *A. alternata* на 40,2%, *T. harzianum* — на 43,9% (рис. 1а); ГВ(1) стимулировал рост *A. alternata* до 87,5%.

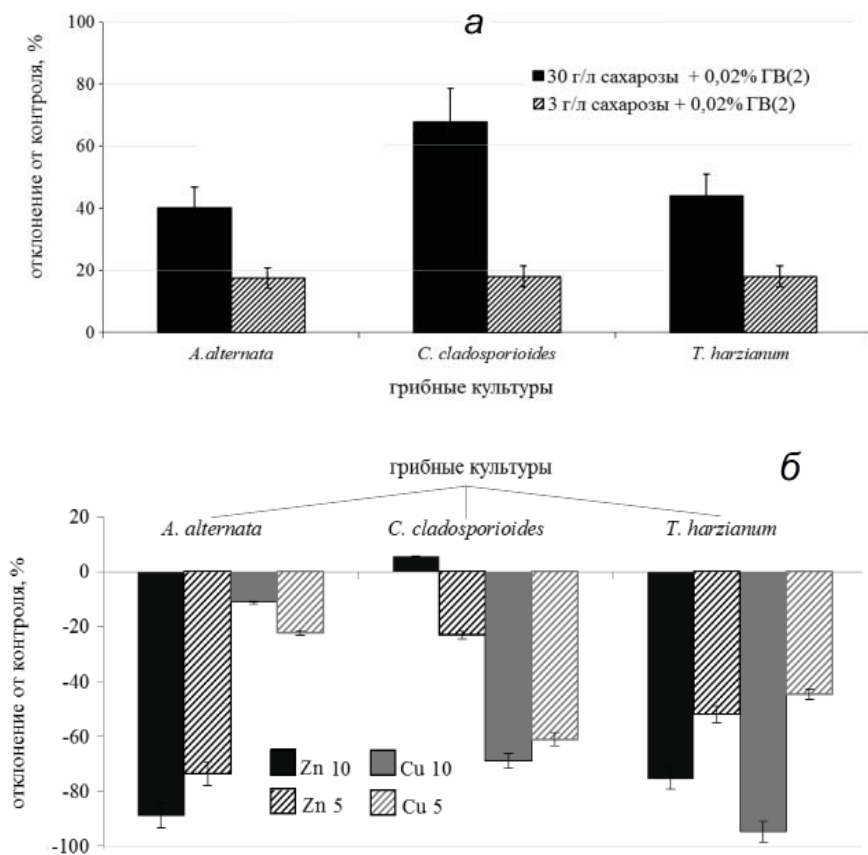


Рис. 1. Биомасса грибных культур *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* и *Trichoderma harzianum* при внесении в среду роста: а) гуминовых веществ (лигносульфоната), б) тяжелых металлов (Zn, Cu).

Оба препарата не произвели заметного эффекта в среде с меньшим количеством сахарозы (3 г/л). Дополнительные эксперименты с *A. alternata* показали, что более высокая и сопоставимая стимуляция прироста биомассы может быть достигнута двумя способами: 1) при внесении в среду 0,1% препаратов или 2) введении 0,02% препаратов после предварительного роста культуры на среде с 3 г/л сахарозы без ГВ.

Внесение тяжёлых металлов, наоборот, угнетает прирост биомассы грибов; чаще всего угнетающий эффект усиливался при увеличении концентрации тяжелых металлов. Разные штаммы по-разному реагировали на присутствие солей меди и цинка в среде роста: 1) для *A. alternata* более токсичным оказался цинк (угнетение биомассы на 88,9% при внесении цинка в концентрации 10 ПДК); 2) для *S. cladosporioides* более токсичной оказалась медь (угнетение биомассы на 68,9% при внесении меди в концентрации 10 ПДК); 3) для *T. harzianum* оба металла были близки по степени своей токсичности (рис. 16).

Таким образом, биомасса является информативным микоиндикационным параметром при таких воздействиях, как внесение тяжёлых металлов и промышленных препаратов гуминовых веществ. Однако для нахождения точных закономерностей требуется достаточное количество повторностей и выполнение экспериментов в стандартных условиях.

Литература

Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. — Наука Москва, 2007. — 215 с.

**Изменение биологических свойств залежной
дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы
Среднего Предуралья
Субботина М.Г.**

*Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н.Прянишникова*

Целью исследования было оценить изменения биологических свойств постгарогенной дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы 45-летнего стационарного полевого эксперимента в зерно-травяно-пропашном севообороте. Схема эксперимента предусматривала оценку экологического восстановления удобренного и контрольного участков после прекращения обработки почвы. Было обнаружено, что прекращение обработки почвы и высокая доступность фосфора и калия значительно усиливают продуцирование диоксида углерода и активность уреазы и снижают активность фосфатазы. Мы пришли к выводу, что повышенное количество доступных питательных веществ повышает биологическую активность почвы за пределами ее естественного уровня и для снижения отчуждения питательных веществ почвы и сохранения уровня плодородия предпочтительна рекультивация этих участков.

Залежные земли являются потенциально ценным ресурсом Российской Федерации. В России расположено более 70 миллионов гектаров неиспользуемых сельскохозяйственных угодий, главным образом в районах с низким биоклиматическим потенциалом: в северных и восточных районах, а также в нечерноземной зоне.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации заинтересовано в расширении пахотных земель путем освоения залежей для улучшения продовольственной базы страны. Согласно государственной программе развития сельского хозяйства на 2013-2020 годы, финансирование российских фермерских хозяйств осуществляется погектарно, что влечет за собой процесс возвращения к сельскохозяйственному использованию залежных земель. Однако эффективное вовлечение почв в культуру возможно с использованием научно обоснованных подходов с учетом изменений достигнутых природой.

Цель настоящей работы – изучить изменение биологических свойств дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы в зависимости от землепользования.

Исследования проводили на опытном участке 45-летнего стационарного полевого эксперимента кафедры агрохимии Пермской государственной сельскохозяйственной академии (Пермь, Россия) на очень пологом склоне с юго-восточной экспозицией. Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая, образованная на красноцветных покровных карбонатных глинах Пермского периода, характеризовалась слабокислой реакцией и высокой степенью насыщения основания.

В наших исследованиях мы рассматривали 3 варианта:

1. Залечь контрольного варианта опыта;
2. Залечь варианта с высоким фосфорно-калийным фоном, сформировавшимся в результате внесения минеральных удобрений в течение опыта (до 150 мг/кг);
3. Пашня без внесения удобрений, вспашка продолжалась до момента отбора проб (2014).

Постагрогенный фитоценоз залежи вариантов 1 и 2 был представлен рудеральной растительностью с преобладанием *Taraxacum officinale* и *Sonchus arvensis*. Опад растений состоял из листьев и соломы. Проективные покрытия живой и мертвой растительности были на 12-20% выше в варианте 2 по сравнению с вариантом 1.

Уровни доступного фосфора и обменного калия, установленные в ходе эксперимента также влияли на продуктивность фитоценозов. Общая биомасса была выше на 15-23% в варианте с высоким фосфорно-калийным фоном по сравнению с контролем. Сельскохозяйственные культуры и уровень минерального питания оказали значительное влияние не только на развитие постагрогенного фитоценоза, но и на изменение свойств почвы.

В проведенных исследованиях изучено влияние на биологическую активность следующих эффектов:

- Вариант (1) против варианта (2): экологическое восстановление удобренной почвы;
- Вариант (1) против варианта (3): влияние обработки почвы
- Вариант (2) и вариант (3): взаимное исключение влияния обработки почвы и удобрения.

Дыхательную активность определяли каждые две недели летом 2014 года путем адсорбции CO₂ с использованием метода Штатнова в модификации Макарова (1975). Активность ферментов определяли с использованием спектрофотометрических методов: уреазу по Hoffmann and Teicher (1961); щелочной фосфатазы в соответствии с Tabatabai and Bremner (1969).

Поверхностная эмиссия диоксида углерода значительно различалась между всеми вариантами и зависела во многом от температуры и влажности. Для пашни скорость дыхания почвы была минимальной во всех периодах измерения и составляла в среднем $2,2 \pm 1,2 \text{ кг CO}_2 \times \text{га}^{-1} \times \text{ч}^{-1}$ ($59 \pm 10\%$ контроля, результаты выборки, исключенные в относительных данных), выражая отрицательный эффект сильного нарушения почвенной биоты.

На контрольном участке под залежью выделение CO_2 составило $3,6 \pm 1,6 \text{ кг CO}_2 \times \text{га}^{-1} \times \text{ч}^{-1}$, а в варианте с высоким фосфорно-калийным фоном оно было самым высоким ($4,7 \pm 1,6 \text{ кг CO}_2 \times \text{га}^{-1} \times \text{ч}^{-1}$, $135 \pm 19\%$ контроля). Результаты уреазной активности подтверждают эти данные. На варианте 1 активность была на 13 - 40% выше по сравнению с вариантом под вспашкой.

Активность уреазы составляла до $19,5 \text{ мг N-NH}_3 \times 24\text{h}^{-1} \times 10\text{г}^{-1}$ почвы в пахотном варианте, до $22,3 \text{ мг N-NH}_3 \times 24\text{h}^{-1} \times 10\text{г}^{-1}$ почвы в контроле и до $31,4 \text{ мг N-NH}_3 \times 24\text{h}^{-1} \times 10\text{г}^{-1}$ в варианте с высоким фосфорно-калийным фоном. Таким образом, накопление органических остатков и активность уреазы оставались на более высоких уровнях в варианте 2 после прекращения полевого эксперимента, по-видимому, из-за сохраняющихся благоприятных условий для развития растительности и почвенной биоты.

Активность фосфатазы была обратно пропорциональна концентрациям подвижного фосфора, что указывает на то, что активность фосфатазы снижается при наличии фосфатов. Для контроля активность составляла $12,0 \pm 1,1 \text{ мг P}_2\text{O}_5 \times \text{h}^{-1} \times \text{г}^{-1}$ почвы; для варианта с высоким фосфорно-калийным фоном $8,7 \pm 2,8 \text{ мг P}_2\text{O}_5 \times \text{h}^{-1} \times \text{г}^{-1}$ почвы и значительно выше на пашне - $16,7 \pm 0,7 \text{ мг P}_2\text{O}_5 \times \text{h}^{-1} \times \text{г}^{-1}$.

В качестве вывода можно отметить, что повышенное количество доступных питательных веществ повышает биологическую активность почвы за пределами ее естественного уровня. Рекультивация преимущественно таких участков более эффективна для сельхозпроизводства. Кроме того, предлагается оставление под залежью почв после серьезных антропогенных нарушений для восстановления её функциональности.

Влияние нефтезагрязнения на продуктивность яровой пшеницы на чернозёмах

**Арзамазова А.В., Кинжаев Р.Р., Гальцова А.Д.,
Хрептугова А.Н.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Чернозёмная зона – территория наиболее ценная с точки зрения сельскохозяйственного производства, поэтому проблема охраны почвенных ресурсов от нефтезагрязнения имеет первостепенное значение. В связи с этим проблема рекультивации нефтезагрязнённых почвы и возврат их в сельскохозяйственный оборот весьма актуальна. Возможность возделывания сельскохозяйственной продукции на почвах загрязнённых остаточным количеством «свежих» нефтепродуктов (давность загрязнения два месяца), оценка ее продуктивности и экологической безопасности было целью нашего исследования.

Инфраструктура нефтедобычи на сегодняшний день охватывает довольно значительные территории и зачастую нефтепромысловые коммуникации проходят через земельные угодья, в том числе и сельскохозяйственного назначения. Чернозёмная зона – территория наиболее ценная с точки зрения сельскохозяйственного производства, поэтому проблема охраны почвенных ресурсов от нефтезагрязнения имеет первостепенное значение.

Из-за поступления нефтепродуктов (НП) в почву имеет место отчуждение земель из сельскохозяйственного оборота, вследствие непригодности для земледелия: нарушается экологическое равновесие природных ландшафтов, наблюдается снижение биоразнообразия, а при высоких дозах поллютанта и полная гибель микроорганизмов и растений. В целом же эффективность биодеградации нефти в почве определяется комплексом биотических и абиотических факторов: температурой, влажностью, обеспеченностью элементами минерального питания, микробиологической активностью и т.д. Токсическое воздействие НП на биоценоз и скорость разложения нефтепродуктов в почве зависят и от химического состава нефти: наибольшая токсичность ее для живых организмов в начальный период загрязнения связана с высоким содержанием алифатических и моноароматических соединений, но они и в первую очередь подвергаются биохимическому разложению.

В связи с этим проблема рекультивации нефтезагрязнённых почвы и возврат их в сельскохозяйственный оборот, особенно в Чернозёмной

зоне нашей страны, весьма актуальна. Возможность возделывания сельскохозяйственной продукции на почвах загрязненных остаточным количеством «свежих» НП (давность загрязнения два месяца), оценка ее продуктивности и экологической безопасности было целью нашего исследования.

Исследования проводили в вегетационном опыте на загрязненных НП почвах по единой схеме для всех подтипов черноземов в трехкратной повторности (табл. 1).

1. Схема опыта

Почва	НП, мг/кг	Опытная культура
1. Чернозём выщелоченный	контроль	Яровая пшеница
	1000	
	3000	
2. Чернозём типичный	5000	
	7000	

Дозы НП были выбраны из следующих соображений: 1000 мг/кг соответствует допустимому остаточному содержанию нефтепродуктов (ДОСНП) принятому в РФ, доза 3000 мг/кг соответствует региональному нормативу (РН) допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в чернозёмах Республики Татарстан, дозы 5000 и 7000 мг/кг выбраны для сравнения как «высокий уровень загрязнения» в соответствии с «Инструкции по выявлению деградированных сельскохозяйственных угодий и загрязненных земель» (1995). Объектами изучения были чернозём типичный и чернозём выщелоченный. В качестве возделываемой культуры выбрана яровая пшеница сорта «Злата» (*Triticum aestivum* L.). Учёт надземной биомассы пшеницы проводили по истечении 95 дней вегетации.

Определение агрохимических свойств почвы и анализ растений проводили общепринятыми методами. Содержание нефтепродуктов определялось методом ИК-спектromетрии.

Чернозём типичный в контрольном варианте характеризовался нейтральной реакцией среды, высоким уровнем обеспеченности подвижными формами фосфора и обменного калия. Возрастающие дозы нефтезагрязнения существенно не повлияли на степень почвенной кислотности, но привели к значительному снижению доступности фосфора и калия: в среднем на 15% при загрязнении НП 1000 мг/кг (сохраняя высокий уровень обеспеченности), на 26% при НП 3000 мг/кг (снижаясь до повышенного уровня обеспеченности) и более 45% при высоких дозах НП (сохраняя повышенный уровень обеспеченности).

Чернозём выщелоченный имел слабо кислую реакцию среды и повышенный уровень обеспеченности подвижными формами фосфора и обменного калия. Уже минимальная доза загрязнения НП в 1000 мг/кг приводит к снижению до среднего уровня обеспеченности и по фосфору и по калию, а дальнейшее увеличение содержания НП снижает обменный калий до низкого уровня обеспеченности, но сохраняет обеспеченность фосфором на среднем уровне. Происходит это за счет обволакивания почвенных частиц углеводородами нефти и, как следствие, нарушением циклов химических элементов, в том числе элементов-биофилов, ухудшением водно-, воздушно-физических, увеличением ее гидрофобизации, снижением порозности, развитием анаэробных процессов, что напрямую влияет на обеспеченность элементами минерального питания растений.

В течение всего периода вегетации проводились фенологические наблюдения. Присутствие в почве нефтепродуктов приводит к значительной задержке роста растений (прямо пропорциональной содержанию загрязнителя). Запаздывание в сроках прорастания семян, в прохождения фазы выхода в трубку и фазы начала колошения растениями яровой пшеницы на загрязненных почвах по сравнению с контрольными вариантами составляет 1-3 дня для доз НП 1 и 3 г/кг почвы и от 3 до 6 дней для доз загрязнителя 5 и 7 г/кг почвы.

Полученные в вегетационном опыте результаты, показывают, что уровень негативного влияния НП на агрохимические свойства почвы и продуктивность растений зависит от уровня окультуренности: чем выше уровень окультуренности, тем слабее отрицательное действие НП на растения.

Все изученные дозы нефтепродуктов на всех подтипах чернозёмов в разной степени, но оказывают негативное действие на рост и развитие яровой пшеницы, угнетая процессы формирования вегетативной массы и задерживая прохождение культурой фаз развития по сравнению с контрольными вариантами.

Доза нефтепродуктов в 1 г/кг почвы не приводит к достоверному снижению продуктивности пшеницы только на типичном черноземе, на выщелоченном чернозёме падение продуктивности составило от 30 до 40% относительно незагрязненной почвы. Доза НП в 3 г/кг на всех изученных подтипах чернозема вызывает угнетение развития надземной и подземной биомассы от 50 до 65%. Содержание НП 5 и 7 г/кг почвы более чем на 70 % относительно контрольного варианта снижает продуктивность биомассы пшеницы, вызывает значительное торможение в прохождении фаз развития растений.

Роль природных соединений в агрохимической практике

Воронина Л.П., Морачевская Е.В.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Введение

В настоящее время в агрохимической практике актуальны проблемы, связанные с получением высокой урожайности сельскохозяйственных культур с сохранением и повышением качества растениеводческой продукции. В то же время, модернизация технологий применения удобрений и иных средств химизации с целью получения высокого положительного эффекта в условиях оптимальных и не высоких доз их применения, остается важным и перспективным направлением агрохимии [Бурлакова и др., 2003].

В современных агротехнологиях активно используют физиологически активные вещества как для адаптации к негативному действию абиотических и биотических факторов, так и для повышения поглощения растениями элементов питания из почвы и удобрений [Яхин, 2014; Воронина, Минеев. 2009].

Также экологическая токсичность и длительное последствие от остаточных количеств пестицидов побудили к поиску нетоксичных экологически чистых биологических агентов, повышающих иммунитет растений и устойчивость к болезням [Вакуленко, 2013; Астафьева и др., 2015].

Использование биологически активных природных соединений в агрохимической практике (регуляторов роста растений, препаратов, полученных из экстрактов растений и водорослей, органо-минеральных комплексов и др.) может иметь весьма важное значение для повышения экологизации сельского хозяйства, поскольку они могут способствовать расширению производства растительной продукции при меньшем воздействии на окружающую среду.

Целью наших исследований являлось определение эффективности действия низких концентраций ряда биологически активных веществ (БАВ) с учетом культур и агрохимических условий их выращивания.

Объекты и методы исследований

Представленные ниже объекты наших исследований являются веществами, которые синтезированы и производятся фирмой ННПП НЭСТ-М или являются активными компонентами этих веществ. Они широко используются в России и других странах, однако, их

функциональные особенности действия продолжают исследоваться, что перспективно для расширения диапазона их применения.

1. Действие салициловой кислоты (СК) изучали в вегетационном опыте. Почва, используемая для постановки опыта, была отобрана с территории УОПЭЦ «Чашниково» (Московская обл., Солнечногорский р-н) и имела следующую агрохимическую характеристику: рН-5,6(KCl), K_2O -15,8(мг/100г), P_2O_5 -20,1(мг/100 г), Азот-0,4%, Гумус-1,25%. Объем пластиковых контейнеров - 200 г. Опытная культура - ячмень (*Hordeum vulgare*). После всходов, в каждом сосуде оставляли одинаковое количество растений (6 шт.). В фазу кущения растения обрабатывали раствором СК в концентрации 100, 200 и 400 мкмоль/мл двумя способами: фолиарно и в почву. Опыт длился 60 дней, в течение этого периода постоянно контролировался поливной режим и освещённость.

2. В вегетационных опытах с ячменем использовали кремний-содержащее (13 - 15% SiO_2) удобрение «Силиплант». Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений (контроль) и с удобрениями, а так же обработки Si в разных концентрациях; $N_{100}P_{50}K_{50}$; $N_{100}P_{50}K_{50} + Si$ (1 мг/кг); $N_{100}P_{50}K_{50} + Si$ (3 мг/кг); $N_{200}P_{100}K_{100}$; $N_{200}P_{100}K_{100} + Si$ (1 мг/кг); $N_{200}P_{100}K_{100} + Si$ (3 мг/кг). Продолжительность опыта составила 49 дней. Отбор растительных проб (надземная часть растений) и почвенных образцов проводили в 2 этапа – на 39-й и на 49-й день. Для опыта использовались сосуды, вмещающие 2 кг почвы. Почву для опытов использовали дерново-подзолистую средне-суглинистую. Агрохимическая характеристика почвы следующая: рНКCl – 5,8; K_2O – 65 мг/кг; P_2O_5 – 80 мг/кг; содержание гумуса – 2,0%.

3. Органо-минеральное удобрение на основе водорослей «Экофус» испытывали в Ульяновском совхозе декоративного садоводства, Московской обл. Проводили подкормки испытываемыми растворами (полив на подстилаемый мат) (опытные варианты), контролем служили варианты с поливами водой, которые осуществляли 1 раз в 7 дней (срок вегетации: 20 декабря по 21 февраля). Дозы подкормки: разведение 1:200 (0,5% раствор), объём рабочего раствора 100 мл/500 мг субстрата. Объем цветочного горшка – 1 л. Цветочные культуры были отобраны после предварительного эксперимента. Наиболее отзывчивыми, из более чем 20 декоративных культур, оказались следующие:

1. Бальзамин (*Impatiens L.*) сем. Бальзаминовых.
2. Глоксиния (*Sinningia*) сем. Геснериевых.
3. Цикламена (*Cyclamen*) сем. Первоцветные, с которыми и были проведены дальнейшие исследования.

Для регистрации воздействия испытуемых препаратов проводили учет и замеры в ходе вегетации растений. Следили за динамикой развития культур по следующим показателям: высота, число листьев, размеры листа, количество цветков, количество бутонов, диаметр цветка.

Результаты и обсуждение

Салициловая кислота (СК) – стрессовый метаболит, сочетающий свойства сигнального интермедиата и фитогормона (Senaratna et al, 2000; Wang et al., 2007; Воронина и др., 2013). Способность СК нивелировать биотические стрессы обусловлена увеличением под её влиянием содержания активных форм кислорода (АФК) в клетках. Считается, что один из основных механизмов действия СК связан с ингибированием каталазы, которую можно рассматривать как рецептор СК. Ингибирование каталазы приводит к увеличению содержания пероксида водорода, который и выполняет сигнальные функции в индуцировании экспрессии защитных генов (Shim, et al. 2003).

Действие салициловой кислоты, было изучено в интервале низких (10^{-6}) и высоких (10^{-2}) моль концентраций методами фитотестирования на разных культурах. В высоких концентрациях проявлялось ингибирование роста корней тест растений, а в низких концентрациях их стимуляция (рис. 1).

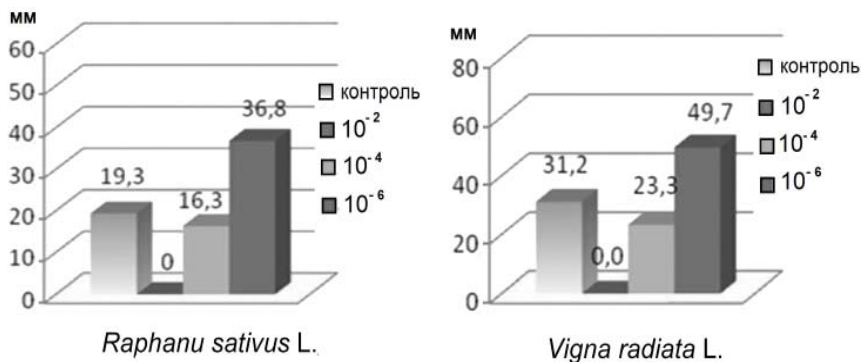


Рисунок 1. Длина корней (мм) при определении рабочей концентрации СК методом фитотестирования

На рисунке видно, что максимальные показатели получились при использовании СК с концентрацией 10^{-6} моль, стимуляция составляла 60-90% в зависимости от культуры. Данная концентрация (рабочая концентрация) и была использована в дальнейшем при проведении вегетационных опытов.

В вегетационных опытах с ячменем СК существенно повлияла на изменение активности каталазы (табл. 1) Установлено снижение активности данного фермента в зеленой массе более чем в три раза. При фолитарной обработке наблюдается отрицательная корреляция ($r = -0.9$) между показателями каталазной активности и концентрацией СК. При внесении СК в почву, каталазная активность снижалась достоверно по отношению к контролю, однако, достоверной зависимости от концентрации не установлено, можно отмечать лишь тенденцию к снижению.

1. Влияние разных доз салициловой кислоты (мкмоль) на активность каталазы при обработке ячменя фолитарно и в почву

Варианты	Активность каталазы, МЕх10 ⁻³
Контроль	44,5
СК на лист	
100	15,4
200	10,6
400	9,2
СК в почву	
100	14,6
200	13,9
400	13,1

Кремний выполняет очень важные функции в растениях. Его роль существенно возрастает при неблагоприятных условиях внешней среды. При использовании препарата «Силиплант» в концентрации 3 мг/кг в фазу 3-х листьев на фоне высокой обеспеченности почв элементами питания в микрополевоом опыте был получен позитивный эффект по биомассе растений ячменя (рис. 2). Произошло увеличение с 0,22 до 0,30 г, т.е. на 34%. Более низкая концентрация (1 мг/кг) не оказала на этом фоне выраженного действия. На фоне низкой обеспеченности питательными элементами проявляется тенденция к увеличению биомассы, которая практически не зависит от концентрации используемого Si препарата. В ходе вегетации ситуация меняется. Максимально эффективное действие Si проявляется на низкой его концентрации (1 мг/кг) и на фоне низкой обеспеченности почвы питательными элементами (рис. 2). Более высокая концентрация Si (3 мг/кг) не проявляет активного действия на рост и биомассу растений ячменя. Таким образом, эффект действия проявляющийся на первых этапах после применения препарата может нивелироваться в ходе вегетации.

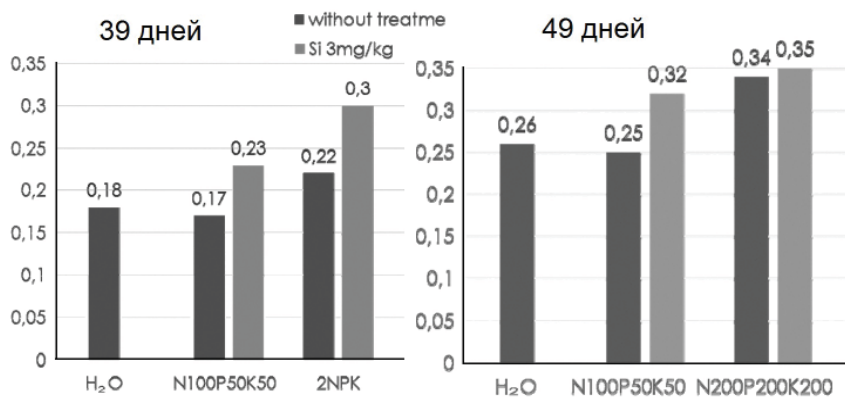


Рисунок 2. Влияние обработки ячменя препаратом «Силиплант» на биомассу растений, в зависимости от обеспеченности почвы элементами минерального питания

«Экофус» – органо-минеральное удобрение на основе водоросли – фукуса пузырчатого из акватории Белого моря. 100% натуральный продукт, содержит более 40 микроэлементов, в т.ч. I, Se, Si, а также белки, аминокислоты, углеводы, витамины, клетчатку, органические кислоты, ферменты, каротиноиды, природные антибиотики. Данное удобрение содержит и физиологически активные вещества, обладающие иммуностимулирующим, антивирусным, антибактериальным и фунгицидным действиями.

Наши исследования подтвердили их активное действие и возможность их применения для цветоводства. Воздействие органо-минерального удобрения «Экофус» на количество листьев и цветков декоративных растений представлено в табл. 2 - 4. В зависимости от вида растения, увеличилось число листьев на 35 - 40% и их размеры, растения зацветали на неделю раньше, размеры цветка были значительно больше относительно контроля. При обработке удобрением «Экофус» наблюдалась стимуляция фотосинтетической активности у исследуемых цветочных культур: бальзамина, цикламены и гloxинии.

Заключение

Регулятор роста растений Салициловая кислота, удобрение с высоким содержанием биоактивного кремния и комплексом микроэлементов в доступной хелатной форме «Силиплант» и органо-минеральное удобрение, полученное из экстрактов водоросли «Экофус» – это биопрепараты нового поколения, которые могут успешно применяться в агрохимической практике, как на сельскохозяйственных, так и декоративных культурах.

2. Биометрические показатели бальзамина (*Impatiens L.*)

Характеристики	Варианты	
	Контроль	“ЭкоФус”
<i>Характеристика листьев</i>		
Среднее количество листьев, шт.	25	35
% от контроля	100	140
Средняя длина листа, см	10	12,9
% от контроля	100	129
Средняя ширина листа, см	3,8	4,9
% от контроля	100	129
<i>Характеристика цветков</i>		
Среднее количество цветков, шт	4	5
% от контроля	100	120
Диаметр цветка, см	5,7	7,0
% от контроля	100	123
Среднее количество бутонов, шт.	7	9
% от контроля	100	130

3. Биометрические показатели цикламены (*Cyclamen*)

Варианты	Среднее количество листьев, шт.	% от контроля	Средняя длина листа, см	% от контроля	Средняя ширина листа, см	% от контроля
Контроль	11	100	8,0	100	8,6	100
“ЭкоФус”	15	136	9,5	119	9,7	113

4. Биометрические показатели глоксинии (*Sinningia*)

Показатели	Варианты	
	Контроль	“ЭкоФус”
<i>Характеристика листьев:</i>		
Среднее количество листьев, шт.	12	16
% от контроля	100	133
Средняя длина листа, см	15	19
% от контроля	100	127
Средняя ширина листа, см	12	15
% от контроля	100	125
<i>Характеристика цветков:</i>		
Среднее количество цветков, шт.	0	7
Диаметр цветка, см	0	9
Среднее количество бутонов, шт.	14	18
% от контроля	100	128

Низкие рекомендуемые концентрации в совокупности со способом применения данных препаратов (фолиарное применение позволяет более эффективно использовать питательные элементы, особенно в условиях засухи и засоления) сводят к минимуму возможный токсический эффект, связанный с накоплением токсикантов в почве и растении.

Литература

1. Бурлакова Е.Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л. // Химическая физика. – 2003. – Т. 22, N 2. – С.390 - 424.
2. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия, - 2014. - № 7. - С. 85–90
3. Воронина Л.П., Минеев В.Г. Особенности действия 24-эпибрассинолида на рост и развитие ячменя в зависимости от условий минерального питания. Проблемы агрохимии и экологии, – 2009. – № 3. – С. 16-21
4. Вакуленко В.В. Высокий урожай здоровых клубней с регуляторами роста от «НЭСТ М» // Картофель и овощи. – 2013. – № 4. – С. 28-29
5. Астафьева О.В., Вилкова Д.Д., Батаева Ю.В., Магзанова Д.К., Егоров М.А. Исследование антибактериальных свойств стимулятора роста растений «эпин-экстра» с целью получения экологически чистой продукции. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015 – № 8. – 130. – С. 81 – 85
6. Воронина Л.П., Черкашина Н.Ф., Ильина И.И. Роль арахидоновой кислоты в регуляции роста и развития ячменя (*Hordeum Vulgare* L.). Теоретическая и прикладная экология. – 2013 – № 1. – С. 77-82
7. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. et al. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* (2000) 30: 157. <https://doi.org/10.1023/A:1006386800974>
8. Wang D, Mukhtar KP, Culler AH, Dong X. Salicylic Acid Inhibits Pathogen Growth in Plants through Repression of the Auxin Signaling Pathway. *Current Biology*. 2007, V.17: 20, P.1784-1790
9. Shim, IS., Momose, Y., Yamamoto, A. et al. Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. *Plant Growth Regulation* (2003) 39: 285. <https://doi.org/10.1023/A:1022861312375>

Распределение состава аминокислот в полугидроморфных почвах (как отражение биологической активности)

Ковалев И.В., Ковалева Н.О.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Представлен обзор литературы о содержании и составе аминокислот в почвах, а также методика их одновременного определения в почвенной пробе. Изучено распределение состава аминокислот (глюкозамин, галактозамин, маннозамин, мурамин) в геохимически сопряженной катене. Показано, что аминокислоты являются отражением биологической активности почв, которая прямо регистрируется по увеличению длины грибного мицелия и бактериальной биомассы, и косвенно – по увеличению количества диэфиров микробного происхождения и продуктам трансформации лигнина.

Осушение агросерых полугидроморфных почв усиливает и микробиологическую деятельность в них, что подтверждается повышенными значениями общего содержания аминокислот и перераспределением их состава, особенно в элювиальных горизонтах, проявлением процессов мобилизации органического вещества в почвах.

**Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-14-01120 «Почвенные биомаркеры в диагностике глобальных изменений климата и предотвращении региональных экологических кризисов».*

Введение

Сахара являются важнейшей составной частью травянистой подстилки и корневых остатков [26]. Почвенная фауна и микрофлора используют растительные сахара (пентозы) в качестве источника углерода и энергии. Одновременно микроорганизмы синтезируют гексозы и обогащают ими почву [17, 19, 29]. Так, принимая суммарную биомассу почвенных микроорганизмов, равной 175-680 кг сухого вещества на гектар, содержание 8 % аминокислот-N в микробной массе и среднюю скорость размножения микроорганизмов 30-40 поколений в год, получаем, что в почве за один год лишь микроорганизмы синтезируют 420-2176 кг N/га [11]. Наличие аминокислот в почвах – это первые признаки микробного сообщества, участвующего в превращении органического вещества [14, 15]. Таким образом, содержание различных сахаров может быть важнейшим свидетельством, для оценки доли микробного азота в органическом веществе почв.

Композиционные отношения аминокислот отражают активность различных групп микроорганизмов в формировании органического вещества почв, так как высшие растения не продуцируют аминокислоты [25, 34, 37]. Между тем работами Coelho et al. [18] обнаружено, что гуминовые кислоты почв содержат до 25 % азота аминокислот. По результатам ^{13}C ЯМР-спектроскопии гуминовых кислот в области 71 ppm зафиксирован один из самых интенсивных сигналов, свойственный, по Zech et al. [39], протонам полисахаридов. Ковалева, Ковалев [9], показали, что хотя из-за наложения сигналов протонов углерода боковых цепочек лигнина, О-алкильного углерода эфиров и спиртовых групп отдельно пик полисахаридов не интегрирован, именно его величина определяет конечную цифру относительного содержания углерода карбогидратов: до 38 % в молекулах ГК светлосерых оглеенных почв, что в 2-3 раза выше, чем площадь пика других алифатических, ароматических и карбоксильных структур. Подобный факт преобладающего содержания карбогидратов в молекулах гумусовых кислот отмечается Skjemstad et. al. [33] для гумусовых кислот краснозема и красной ферралитной почвы Австралии. Kögel [23], также показала, что молекулы фульвокислот состоят преимущественно из полисахаридов. Действительно, вслед за увеличением фульватности гумуса увеличивается и площадь обсуждаемого пика в горно-луговых альпийских (до 43 %) и плейстоценовых погребенных почвах (до 30%) [8]. По Орлову [10], инкорпирование гуминовыми кислотами моносахаридов, как и присоединение аминокислот, возможно путем возникновения N-гликозидных связей. Возможность участия аминокислот в синтезе гуминовых кислот, особенно триптофана, тирозина, фенилаланина, была показана, согласно результатам ^{14}C [2]. Поэтому дальнейшего изучения требует не только выяснение характера реакций включения азота в состав гумусовых кислот, но и всего спектра аминокислот как меры биохимической активности почв.

Обычно в почвах определяется только глюкозамин (GluN) и галактозамин (GalN) [14, 15], так как GluN – важнейшая составная часть грибного хитина [31]. По Sowden und Ivarson [35], в инкубационных экспериментах грибы синтезируют глюкозамин, но вряд ли галактозамин. Поэтому Kögel und Bochter [24], определяли отношение глюкозамин к галактозамину, чтобы показать вклад грибов в разрушении подстилки и гумификацию в гумусовом профиле лесных почв. Но точное происхождение галактозамина (GalN) в почвах остается сомнительно, так как определенные таксономические группы грибов тоже могут генерировать GalN [22]. Мурамин напротив, происходит не из грибов, 116

а исключительно из клеточных стенок бактерий [25, 31]. Правда, до сих пор было немного известно о мурамине, и ничего – о маннозамине в почвах [16, 27, 40]. Маннозамин был обнаружен в особоклеточных полисахаридах *Streptococcus* [25], *Salmonella* и *Escherichia coli* [38]. Благодаря [18], было обнаружено, что гуминовые кислоты в почвах могут содержать следы маннозамина. Следовательно, мурамин и, возможно, маннозамин можно использовать для оценки бактериального вклада в превращении или обогащении органического вещества азота. Конечно, численность бактерий и грибов нельзя установить по количеству аминокислот, так как аминокислоты являются их продукцией, различные микроорганизмы содержат различные концентрации аминокислот. Однако отношения аминокислот могут служить следами происхождения аминокислотного азота в почвах. Так как мурамин в почвах продуцируется бактериями, отношение глюкозамин/мурамин может быть индикатором вклада бактериальных сахаров в органическое вещество почв по сравнению с другими источниками.

Аминокислоты могут косвенно характеризовать деструкцию и такого устойчивого соединения как лигнин в почвах. Поэтому решающим для микробной деструкции лигнина является наличие легко разрушаемых источников углерода, таких как полисахариды. Максимальный эффект при этом может достигнут в условиях оптимального и повышенного увлажнения. Amelung et al. [12], показали для почв североамериканских прерий влажность почв влияет на состав аминокислот: увеличение нормы осадков приводит к преимущественной аккумуляции в почвах аминокислот грибного происхождения, а не бактериального. Оптимальная температура для аккумуляции аминокислот – 12-15°C. Авторы обнаружили также, что существует климатически обусловленная связь динамики содержания лигнина и полисахаридов в почвах. Основываясь на выявленной зависимости состава аминокислот от климатических показателей, нами [8], была предложена методология использования спектра аминокислот в качестве молекулярных меток древнего педогенеза.

Сведений о пуле аминокислот в зональных почвах России крайне мало, а информации об источниках и путях их превращения, трансформации и роли в гумусообразовании в разных позициях ландшафта, нет вообще. Поэтому целью исследования является изучение содержания и профильного и ландшафтного распределения аминокислот, а также выяснения взаимосвязи их пула с биологической активностью почв и роли процессов гумификации.

Объектами исследования послужили светло-серые лесные (агросерые) почвы, образующие типичные геохимические катены в Подольско-Коломенском ополье Московской области. Почвы характеризуются одинаковыми причинами переувлажнения (поверхностные воды), сформированы на близких или тождественных по гранулометрическому составу породах – крупнопылевато-иловатом лёгком суглинке. При этом в исследование включены также и осушенные с 1987 г. агросерые глееватые почвы экспериментально-мелиоративного полигона Коломенского ополья. Подробное описание объекта исследований, характерные различия гидрологического и окислительно-восстановительного режимов исследуемых почв представлено ранее [3, 5, 7].

Методы исследования

Для определения аминокислот была использована модифицированная Амелунгом [12] методика, которая в отличие от известных до сих пор методов определения аминокислот в почвах [14, 20, 21, 24, 30, 40] позволяет одновременно определять в почвенной пробе 4 аминокислоты (глюкозамин, галактозамин, маннозамин и мурамин) за счет использования при гидролизе 0,4 М КОН. Апробированный метод состоял из следующих этапов:

Гидролиз почвенных проб (приблизительно 0,3 мг N) в 6М HCl с использованием мио-инозитола в качестве внутреннего стандарта. Гидролиз 0,4 М КОН при pH 6,6-6,8 позволяет выпадать в осадок всем примесям раствора. Светлая вытяжка благодаря 10 мин. центрифугированию при 2000 об./мин. отделяется от осадка и переносится в колбы и высушивается замораживанием. Осадок промывается в 3 мл метанола и снова отделяется центрифугированием.

Очищение гидролизата на GF6-стеклянно-волоконистом фильтре фирмы Schleicher & Schuell с использованием ротационного испарителя.

Дериватизация по методу Guerrant und Moss [21], достигалась в смеси пиридин-метанол в соотношении 4:1, которая содержит 32 мг/мл гидроксил-гидрохлорида и 40 мг/мл 4-(диметиламин)-пиридина.

Газохроматографический анализ на газовом хроматографе HP 5890 (Hewlett-Packard, Palo Alto CA, U.S.A.), оснащённом пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой Ultra-2 (fused silica, 25 м длины x 0,2 мм ID, толщина пленки 0,33 мкм). В качестве носителя- и маркера служит газ N₂ при давлении в колонке 110 кПа.

Результаты и обсуждение

Распределение полисахаридов по геохимически сопряженной катене (рис. 1) обнаружило увеличение их содержания по мере увеличения влажности почв (от глубокооуглеенных «автоморфных» к глееватым «экстремально выраженным» агросерым почвам) в поверхностных и в элювиальных горизонтах. Этот факт может быть свидетельством интенсивной микробиологической активности почв начальных стадий заболачивания. При этом содержание гексозаминов (в мг/г N) широко варьирует в пахотных горизонтах почв независимо от степени их увлажнения (табл. 1).

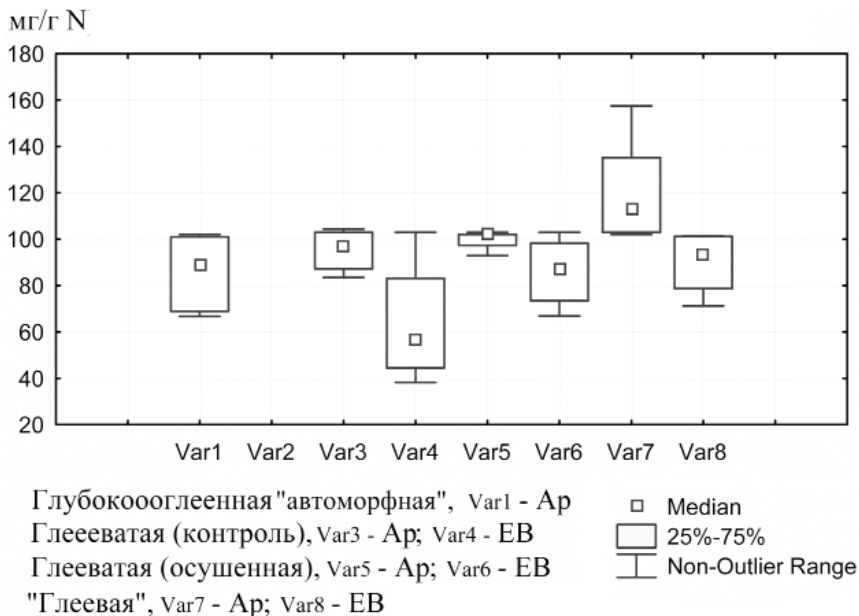


Рис. 1. Содержание аминсахаров в агросерых полугидроморфных почвах

По характеру аккумуляции в гумусовых горизонтах гексозамины располагаются в ряд: глюкозамин > галактозамин > маннозамин. В элювиальных горизонтах усиление степени гидроморфизма почв по катене вызывает и изменение обсуждаемого ряда: галактозамин > глюкозамин > маннозамин. Интересно отметить, что в горизонте Ap агросерых почв начальных стадий заболачивания увеличивается содержание мурамина с 11 мг/г N в глубокооуглеенной до 15 мг/г N – в глееватой почве. Дальнейшее нарастание увлажнения в ряду почв: глубокооуглеенная «автоморфная» → глееватая → «экстремально

1. Содержание и профильное распределение полисахаридов
(в мг/г N) в агросерых почвах периодического переувлажнения, n = 3

Горизонт, глубина, см	N, %	Глюкозамин	Маннозамин	Галактозамин	Мурамин	Сумма полисахаридов	Глюкозамин Галактозамин	Глюкозамин Мурамин	Глюкозамин Маннозамин
Глубокооглеенная «автоморфная» почва									
Ар 0-20	0,13	58,28 ± 15,40	1,22 ± 0,43	7,92 ± 1,72	11,03± 2,64	78,46 ± 18,50	7,55 ± 2,15	5,26 ± 0,17	50,73± 15,64
Глееватая неосушенная (контроль) почва									
Ар, g' 0-20	0,18	65,57 ± 8,66	1,76 ± 0,40	9,01 ± 0,42	15,36± 1,69	91,70 ± 11,12	7,26 ± 0,62	4,26 ± 0,15	37,75± 4,09
АЕ g' 30-35	0,11	30,84 ± 8,58	0,66 ± 0,33	9,54 ± 0,58	9,66 ± 2,99	50,71 ± 12,47	3,19 ± 0,71	3,23 ± 0,12	52,65± 12,75
Глееватая осушенная (10-й год последствия дренажа) почва									
Ар 0-20	0,19	69,3 ± 2,32	1,62 ± 0,16	9,37 ± 2,03	17,11 ± 0,30	97,4 ± 4,49	7,71 ± 1,43	4,05 ± 0,06	43,29± 5,70
АЕ g' 30-35	0,12	35,58 ± 5,42	6,43 ± 5,43	32,36± 15,98	5,78 ± 2,68	80,15 ± 13,29	1,35 ± 0,50	8,38 ± 4,81	21,78± 19,23
Глееватая «экстремально выраженная» (глеевая) почва									
Ар, g''' 0-20	0,22	65,02 ± 10,65	1,73 ± 0,13	66,17± 11,00	2,26 ± 0,55	135,17± 22,31	0,98 ± 0,01	29,32± 2,41	37,44± 3,56
АЕg''' 30-35	0,09	35,45 ± 6,43	1,10 ± 0,05	47,15± 7,87	2,57 ± 0,72	86,26 ± 15,07	0,75 ± 0,01	14,2 ± 1,46	31,95± 4,41

выраженная» глееватая (глеевая), – приводит к снижению в несколько (8) раз содержания мурамина, имеющего исключительно бактериальное происхождение (грамм-положительные бактерии). Такое же распределение мурамина в ландшафте характерно и для элювиальных горизонтов (табл. 1). Подобную же закономерность повторяют величины отношения глюкозамин/мурамин, что свидетельствует об увеличении содержания аминсахаров грибного происхождения по сравнению с бактериальными источниками по мере усиления увлажнения почв.

Прямые исследования биомассы микроорганизмов подтверждают последнее заключение (табл. 2). Важно отметить, что в исследуемых почвах бактерии составляют около 1% от общей численности микроорганизмов (бактерий и грибов). Именно в светло-серых «экстремально

Таблица 2. Численность бактерий и грибов в гор. Ар (10-20 см) агросерых оглеенных почв.*

Показатели	Агросерая почва	
	Глубокооглеенная	Глееватая
Численность бактерий, млрд клеток /1 г почвы	0,198 ± 0,01680	0,188 ± 0,00029
Биомасса бактерий, г/г	0,000004158	0,000003948
Биомасса бактерий, мг/г	0,004158	0,003948
Длина грибного мицелия, м / 1 г почвы	75,56 ± 7,11	84,44 ± 14,22
Биомасса грибного мицелия, г/г	0,00029	0,00033
Биомасса грибного мицелия, мг/г	0,029	0,033

* Авторы выражают благодарность д.б.н. Л.М.Полянской за консультации и предоставление приборной базы по определению грибной и бактериальной биомасс в почвах.

выраженных» глееватых (глеевых) почвах наблюдается наименьшее содержание мурамина и максимальные величины отношения глюкозамин/мурамин – 29, по сравнению с 4-5 – в глубокооглеенных «автоморфных» и глееватых полугидроморфных почвах.

Важно подчеркнуть, что наши данные не противоречат сведениям о том, что в более гидроморфных условиях (глеевых, перегнойно-глеевых почвах) микробная биомасса преобладает над грибной [1], так как в нашем случае речь идет о почвах периодического переувлажнения поверхностными склоновыми водами (верховодкой) с контрастным окислительно-восстановительным режимом [3], а в упомянутой работе [1] – о почвах грунтового заболачивания, как правило, с застойным водным режимом. Более того, ранее нами было показано, что минимальное количество мурамина, имеющего бактериальное происхождение, характерно и для таких почв периодического склонового переувлажнения (надмерзлотной верховодкой), как горно-луговые альпийские и высокогорные темноцветные лесные. Накоплением же мурамина характеризуются субальпийские луговые и чернозёмовидные почвы с оптимальным характером увлажнения [8].

По мере усиления степени гидроморфизма в ³¹P ЯМР-спектрах гуминовых кислот почв периодического переувлажнения наблюдается и четкое увеличение площадей пиков диэфиров, в том числе и микробного происхождения, как для ДНК – с 6,7 до 11,3%, так и для фосфолипидов и полисахарофосфатов – с 9,1 до 12,1% [6]. Такое увеличение количества диэфиров при близких значениях грибной и бактериальной биомасс в почвах на микроповышении (глубокооглеенные) и в почвах микропонижений (глееватые) хорошо согласуется и с увеличением

значений содержания гидрооксидов железа в оксалатной вытяжке Тамма с 0,17 до 0,36 %, содержания илистой фракции с 14 до 22 % [7]. Диэфиры фосфора [28] имеют склонность к сорбции на поверхности оксидов и гидроксидов железа в илистой фракции. Ранее нами [8] также обнаружена отрицательная корреляция между содержанием маннозамина и количеством глинистых компонентов (коэффициент корреляции – 0,60 - 0,96), и высокая положительная (0,60) – с содержанием окристаллизованного железа, что объясняется способностью маннозы образовывать нерастворимые соли и устойчивые комплексы неорганическими компонентами почвы. Именно поэтому с возрастом почв увеличивается содержание гексоз и уменьшается – пентоз [36].

С биологической активностью почвы, а, следовательно, и с содержанием аминокислот хорошо согласуются и данные по содержанию и продуктам трансформации лигнина (сумма продуктов окисления лигнина, VSC) в почвах начальных стадий заболачивания (табл. 3). Для разделения тяжело- и легко-разрушаемых растительных остатков используют отношение «лигнин к азоту» (VSC : N). Широкое отношение VSC : N характерно для ароматического структурного углерода, а узкое – для метаболического [32]. Обнаружено, что наибольшему содержанию грибной и бактериальной биомасс, а также аминокислот в глееватой

3. Показатели биохимической трансформации лигнина в почвах

Горизонт, глубина, см	N, %	VSC, мг г ⁻¹ Сорг.	Сумма аминокислот, мг/г N	(Ac/Al)s	T*, %	VSC / аминокислота	VSC : N
Глубокоогуленая «автоморфная» (на микроповышении)							
Ap 10-20, n =4	0,13	10,85±0,73	78,45	0,44±0,072	7,9	0,14	83,5
Глееватая неосушенная (в микрозападине)							
Ap fs, g' 10-20, n =4	0,18	11,97±1,17	91,69	0,37±0,030	5,8	0,13	66,5
Глееватая осушенная (10-й год последствия дренажа)							
Ap fs, g' 10-20, n =6	0,19	9,55±0,46	97,41	0,41±0,012	8,6	0,10	50,3

T* – % измененности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям; (Ac/Al)s – отношение количества фенольных кислот к альдегидам в синрингиловых единицах; VSC – сумма продуктов окисления отражает общее содержание лигнина.

почве соответствует и узкое отношение лигнин/азот (VSC : N) – 83,5 и 66,5 соответственно (табл. 3).

Осушение вызывает глубокую трансформацию не только свойств, водного режима, резкую смену окислительно-восстановительных условий агросерых гидроморфных почв [3, 4], но и усиливает микробиологическую деятельность в них, что подтверждается увеличением количества грибной и бактериальной биомассы (табл. 4, рис. 2).

Увеличение площади пика диэфиров микробного происхождения регистрируется также по данным ³¹P ЯМР-спектроскопии: с 0,82% от Робщ – в неосушенных до 3,02 % от Робщ. – в осушенных почвах [6]. На фоне значимого уменьшения количества углерода наблюдается и увеличение содержания серы микробного происхождения в агросерых глееватых осушенных почвах [4].

4. Длина и биомасса грибного мицелия в гор. Ар агросерых глееватых неосушенных и осушенных почв*

Показатели	Глееватая неосушенная	Глееватая осушенная	
		гончарным дренажом	пластмассовым дренажом
Длина грибного мицелия, м/г	84,44	115,44	125,67
Биомасса грибного мицелия, мг/г	0,033	0,045	0,049

* Для численности бактерий и длины грибного мицелия доля среднего квадратического отклонения (δ_{n-1}) не превышала 5-10%

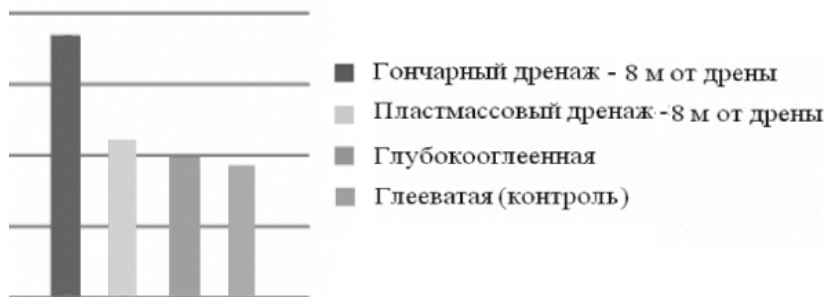


Рис. 2. Численность бактерий, млрд. клеток / 1 г почвы в гор. Ар агросерых почв

Под влиянием осушения в пахотных горизонтах почв увеличивается общее содержание аминокислот – с 92 до 97 мг/г N, а в элювиальных – с 50 до 80 мг/г N (табл. 1). При этом в элювиальных горизонтах ярко выражено увеличение содержания галактозамина. Повышенное содержание аминокислот в осушенных почвах влияет и на качественный состав гумуса: произошло увеличение соотношения Сгк:Сфк в гумусовых горизонтах от 0,93-1,18 до 1,53-1,98 [3]. Данный факт подтверждается и увеличением на 30 % площади пика углерода карбогидратов в области 60-106 ppm, по результатам ¹³C ЯМР-спектроскопии, в молекулах ГК светло-серых глееватых осушенных почв [9].

Усиленная микробиологическая деятельность вызывает и деструкцию лигнина. Сумма продуктов окисления лигнина падает с 12,0 мг г⁻¹ Сорг. до 9,6 мг г⁻¹ Сорг. Возрастает степень окисленности (отношение сиреневые кислоты/к сиреневым альдегидам) и степень измененности боковых цепочек лигнина (VSC) по отношению к исходным растительным тканям: с 5,8 до 8,6. Согласно величинам отношения лигнин/азот (VSC/N) (табл. 3) в осушенных почвах наблюдается и преобладание метаболического углерода над ароматическим.

Изменение перечисленных показателей в осушенных почвах в конечном итоге свидетельствует об аэрации почв, интенсификации окислительных процессов и мобилизации органического вещества в них, улучшении агроэкологических условий для роста и развития растений, как это следует из данных таблицы 5.

5. Биомасса корней (ц/га) в профиле недренированной и дренированной агросерой глееватой тяжелосуглинистой почвы. Отбор образцов - в период восковой спелости (2-х кратная повторность)

Год. Обеспеченность осадками, %	Культура	Слой, см	Агросерая глееватая почва		
			неосушенная (контроль)	осушенная дренажом	
				пласт-массовым	гончарным
Сухой год, 86/73*	вико-злаковая смесь на зерно	0-24	57,4	147,0	167,0
		24-72	8,6	27,4	43,2
Влажный год, 49/25	озимая пшеница	0-20	23,3	78,8	74,7
		20-72	5,5	22,2	24,6
Умеренно влажный год, 33/46	многолетние травы	0-20	123,3	184,2	172,5
		20-72	14,8	40,1	38,6

*86/73 - в числителе обеспеченность осадками за вегетационный период (IV – X); в знаменателе – годовыми осадками.

Таким образом, сведения о пуле аминокислот в почве позволяют оценить 1) интенсивность микробиологической деятельности в гумусовых и минеральных горизонтах почв, и, тем самым, агроэкологические условия в целом; 2) изменение биологической активности почв в ландшафте и во времени; 3) вклад отдельных азотсодержащих соединений в гумификацию и гумусообразование.

Список литературы

1. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М., МГУ, 1987. 256 с.
2. Звягинцев Д.Г., Шаповалов А.А., Пуцкикин Ю.Г., Степанов А.Л., Лысык Л.В., Буланкина М.А. Устойчивость гуминовых кислот к микробной деструкции // Вест. Моск. Ун-та, 2004. Сер. 17, почвоведение. С. 44–47.
3. Ковалев И.В. Эколого-гидрологическая оценка светло-серых оглеенных почв и их изменение под влиянием дренажа. Автореф. дис. ... канд. биолог. наук. М., 1994. 25 с.
4. Ковалев И.В. Марганцево-железистые конкреции и их роль в стабилизации лигнина и биофильных элементов // Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. – Вып. 14. –М.: МАКС Пресс, 2014. С. 134-156.
5. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Биохимия лигнина в почвах периодического переувлажнения (на примере агросерых почв ополей Русской равнины) // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1205–1216.
6. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Органофосфаты в агросерых почвах периодического переувлажнения (по данным ³¹P ЯМР-спектроскопии) // Почвоведение. 2011. № 1. С. 34–43.
7. Ковалев И.В., Сарычева И.В. Соединения железа в серых лесных гидроморфных почвах // Вестн. Моск. ун-та. Сер.17, почвоведение. 2007. № 2. С. 30–36.
8. Ковалева Н.О. Горные почвы Евразии как палеоклиматический архив позднеледниковья и голоцена. Автореф. дис. ... докт. биол. н. М., 2009. 50 с.
9. Ковалева Н.О., Ковалев И.В., Особенности органического вещества Fe-Mn конкреций серых лесных почв (по данным ¹³C ЯМР-спектроскопии). // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2003, № 2. С. 25–32.
10. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 324 с.
11. Паников Н.С., Садовникова Л.К., Фридланд Е.В. Неспецифические соединения почвенного гумуса. М.: Изд. Моск. ун-та, 1984. 144 с.
12. Amelung W. Zum Klimaeinfluss auf die organische Substanz nordamerikanischer Prarieboden. Bayreuth, 1997. 131 s.
13. Amelung W., Zhang H., Flach K.W., and Zech W. Amino Sugars in Native Grassland Soils along a Climatosequence in North America // Soil Sci. Soc. of America J. 1999. Vol. 63. P. 86–92.

14. Benzing-Purdie L. Glukosamine and galactosamine distribution in a soil as determined by gas liquid chromatography in soil hydrolysates: Effect of acid strength and cations // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1981. Vol. 45. P. 66–70.
15. Benzing-Purdie L. Amine sugar distribution in four soils determined by high resolution gas liquid chromatography // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1984. Vol. 48. P. 219–222.
16. Casagrande D.J., Park K. Muramic acid levels in bog soils from the Okefenokee swamp // *Soil Sci.* 1978. Vol. 125. P. 181–183.
17. Cheshire M.V. *Nature and Origin of Carbohydrates in Soils* // Academic Press, London, UK. 1979;
18. Coelho R.R., Sacramento D.R, and Linhares L.F. Amino sugars in fungal melanins and soil humic acids. // *Europ. J. Soil Sci.* 1997. Vol. 17. P. 171–215.
19. Dormaar J.F. Monosaccharides in hydrolysates of water-stable aggregates after 67 years of cropping to spring wheat as determined by capillary gas chromatography // *Can. J. Soil Sci.* 1984. Vol. 64. P. 647–656.
20. Ekblad A. und Naesholm T. Determination of chitin in fungi and mycorrhizal roots by an improved HPLC analysis of glukosamine. // *Plant Soil*, 1996. Vol. 178. P. 29–35.
21. Guerrant G.O. und Moss C.W. Determination of monosaccharides as aldononitrile, O-methyloxime, alditol and cyclitol acetates derivatives by gas chromatography. // *Anal. Chem.* 1984. Vol. 56. P. 633–638.
22. Herrera J.R. *Fungal Cell Wall: Structure, Synthesis and Assembly*. CRC Press, Boca Raton, London. 1992.
23. Kogel I. Estimation and decomposition pattern of the lignin component in forest soil // *Soil Biol. Biochem.* 1986. N18, P. 589–594.
24. Kogel I., und R. Bochter Amino sugar determination in organic soils by capillary gas chromatography using a nitrogen-selective detector. // *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 1985. Vol. 148. S. 260–267.
25. Kenne L.K. und Lindburg B. Bacterial polysaccharides. In G.O. Aspinall (Hrsg). *The polysaccharides*. 1983. Vol. 2. Academic Press, New York. S. 287–353.
26. Molloy L.F., Bridger B., Cairns A. Studies on a climosequence of soils in tussock grasslands. 13. Structural carbohydrates in tussock leaves, roots and litter and in the soil light fraction // *N.Z. J. Sci.* 1977. Vol. 20. P. 443–451.
27. Millar W.N., Casida L.E. Evidence for muramic acid in soil // *Can. J. Microbiol.* 1970. Vol. 16. P. 299–304.
28. Miltner A.L., Haumaier L., Zech W. Transformations of phosphorus during incubation of beech litter in the presence of oxides // *Eur. J. Soil Sci.* 1998. V. 49. P. 471–476.
29. Murayama S. Changes in the monosaccharide composition during the decomposition of straws under field conditions // *Soil. Sci. Plant Nutr.* 1984. Vol. 30. P. 367–381.
30. Oades J.M. Gas liquid chromatography of alditol acetates and its application to the analysis of sugars in complex hydrolysates. *J. Chromatogr.* 1967, Vol. 28. P. 246–252.
31. Parsons J.W. Chemistry and distribution of amino sugars in soils and soil organisms. In E.A. Paul und J.N. Ladd (Hrsg). *Soil Biochemistry*, 1981. Vol. 5. Marcel Dekker,

New York. P. 197–227.

32. Parton W.J., Schimel D.S., Cole C.V. und Ojima D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plain grasslands. // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1987, 51. P. 1173–1179.
33. Skjemstad J.O., Frost R.L. and Barron P.F. Structural Units in Humic Acids from South-eastern Queensland Soils as Determined by ^{13}C NMR Spectroscopy. // *Aust. J. Soil Res.*, 1983, Vol. 21, pp. 539–547.
34. Sowden F.J. Distribution of nitrogen in representative Canadian soils. *Can. J. Soil. Sci.* 1977. Vol. 57. P.445–456.
35. Sowden F.J., Ivarson K.C. Effect of temperature on the changes in the nitrogenous constituents of mixed forest litters during decomposition with various microbial cultures. *Can. J. Soil Sci.* 1974. Vol. 54. P. 387–394).
36. Yoshida M., Sakagami Kanichi, Hamada R. et al. Studies on the properties of organic matter in buried humic horizon derived from volcanic ash. IV. Characteristics of polysaccharides in hydrolysates of fulvic acid and fulvic acids ethanol fractions of buried humic horizon // *Soil. Sci and Plant Nutr.* 1979. Vol. 25. № 2. P. 147–159 .
37. Stevenson F.J. Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, 1982.
38. Wilkinson S.G. Composition and structure of bacterial lipopolysaccharides. /In I. Sutherland (Hrsg.). *Surface carbohydrates of the prokaryotic cell.* Academic Press, London. 1977. P. 97–174.
39. Zech W., Johansson M.-B., Haumaier L. and Malcolm R.L. CPMAS ^{13}C NMR and IR spectra of spruce and pine litter and of the Klason lignin fraction at different stages of decomposition. // *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 1987, Vol. 150, S. 262–265.
40. Zelles L. The simultaneous determination of muramic acid and glucosamine in soil by high-performance liquid chromatography with precolumn fluorescence derivatization // *Biol. Fertil. Soils.* 1988. Vol. 6. P. 125–130.

Влияние уровней загрязнения почвы цинком и свинцом на продуктивность и динамику накопления сухой массы растениями картофеля

Зубкова В.М., Белозубова Н.Ю., Горбунова В.А.

*Российский государственный социальный университет,
Москва*

В работе приведены результаты изучения взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов в почве и угнетением ростовых процессов по темпам накопления сухой массы и урожайности картофеля. Установлено отсутствие действия Zn и Pb при различных их концентрациях в почве на соотношение структурных компонентов картофеля и отрицательное действие на накопление сухой массы в первоначальный период роста. Наблюдаемое последующее положительное действие ТМ, на темпы накопления сухой массы, связанное, очевидно, со стимулирующей интоксикацией растительного организма, не приводило к снижению урожайности картофеля.

Анализ работ по динамике накопления сухой массы, продуктивности растений в оптимальных условиях почвенной среды и при критическом содержании таких загрязнителей как тяжелых металлы в зависимости от этапа онтогенеза указывает на слабую изученность и фрагментарный характер имеющихся в литературе данных по изучаемой проблеме.

Целью исследования явилось изучение динамики накопления сухой массы и продуктивности картофеля при нормальном, допустимом и критическом содержании цинка и свинца в почве.

Исследования проведены в 2017 году на землях бывшей фермы РГАЗУ с растениями картофеля, сорт Невский. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, характеризующаяся низким содержанием гумуса, слабокислой реакцией среды, высоким содержанием фосфора и повышенным – калия.

Схема опыта включала фоновый вариант с внесением сульфата аммония, двойного суперфосфата и хлористого калия из расчета по 6 г N и P₂O₅ и 9 г K₂O на 1 м². На азотно-фосфорно-калийном фоне изучено влияние Zn, внесенного в виде ZnSO₄ × 7 H₂O и Pb – Pb(CH₃COO)₂, в дозах на 1 кг почвы, представленных на рисунках 1-2. Повторность опытов 4-х кратная.

Как и следовало ожидать, с ростом картофеля и новообразованием его органов связано постоянное изменение соотношений структурных компонентов сухой массы (рис. 3).

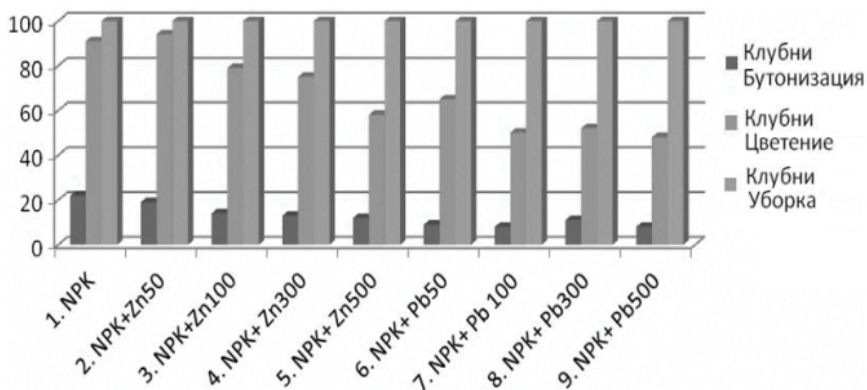


Рисунок 1. Накопление сухой массы клубней картофеля при загрязнении почвы цинком и свинцом

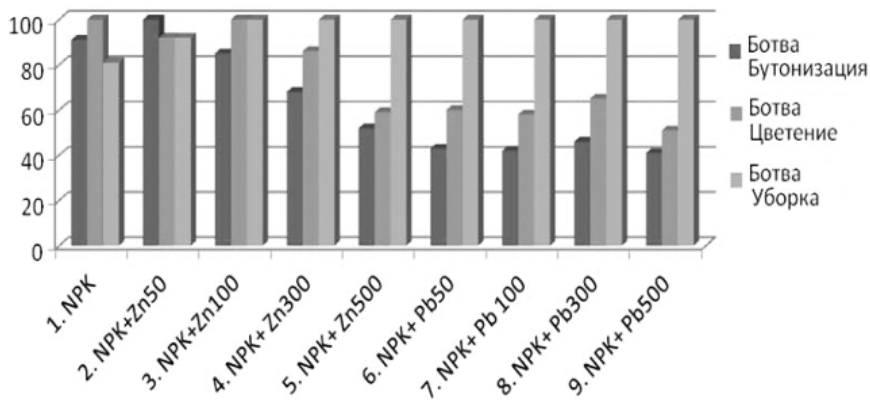


Рисунок 2. Накопление сухой массы ботвы картофеля при загрязнении почвы цинком и свинцом

Относительная доля ботвы в сухой массе картофеля уменьшалась с 53-59% в фазу бутонизации до 18-25% к фазе цветения. К периоду уборки ее доля практически не изменялась, у картофеля не выявлено различий в соотношении структурных компонентов по вариантам опыта.

Ингибирование накопления сухой массы картофелем под действием свинца в первый месяц вегетации сменялось стимулирующим эффектом его наименьшей дозы в течение второго месяца вегетации и интенсивным нарастанием сухой массы под действием всех испытываемых доз свинца в последний период вегетации.

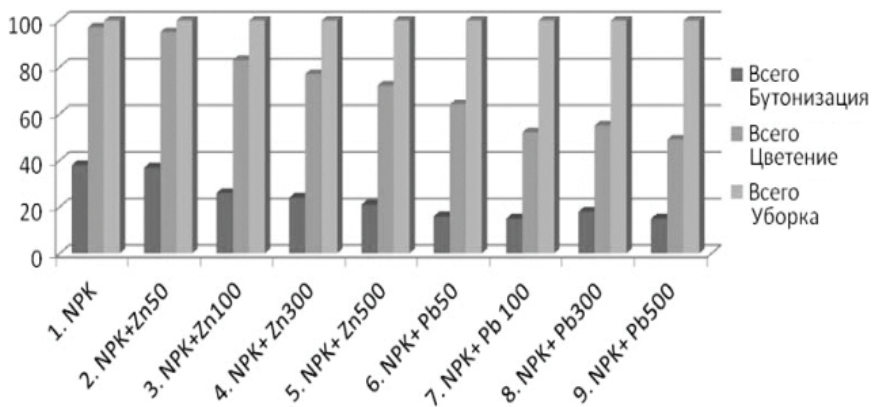


Рисунок 3. Накопление сухой массы растениями картофеля при загрязнении почвы цинком и свинцом

К концу вегетации общее количество её было в 1,3-1,8 раза больше, чем на фоновом варианте. За этот период прирост сухой массы клубней составил 35-53%, ботвы – 37-49% от общего количества. На фоновом варианте сухая масса клубней увеличивалась на 9%, ботвы снижалась на 16%. В течение всего периода вегетации наибольшее накопление сухой массы отмечено при дозе свинца 50 мг/кг, наименьшее – 200 мг/кг. Увеличение дозы до 500 мг/кг сопровождалось ростом сухой массы как клубней, так и ботвы.

К сожалению, в литературе имеются единичные данные по влиянию тяжелых металлов (ТМ), в том числе Pb, на динамику накопления сухой массы растениями. Некоторые авторы, однако, отмечают, что в небольших количествах свинец может быть необходимым элементом. При этом его действие на накопление сухой массы может быть связано со многими факторами, в первую очередь, с окультуренностью почвы (Власюк, Онищенко, 1936; Мокриевич и др., 1973; Минеев др., 1989).

Неоднозначны литературные данные, описывающие темпы ростовых процессов в связи с устойчивостью культур к ТМ. Одна из точек зрения заключается в том, что выработка устойчивости к металлам требует дополнительных затрат энергии, и устойчивые растения имеют более низкую (на 20-50%) продуктивность, чем неустойчивые (Ernst, 1976). Вместе с тем, есть исследования, доказывающие увеличение ростовых процессов у устойчивых форм по сравнению с неустойчивыми (Broyer, 1972; Stenlid, 1977).

Гораздо более определенно проявилось действие цинка на рост и развитие растений.

Начиная с дозы 100 мг/кг, цинк оказывал ингибирующее действие на накопление сухой массы растениями картофеля в первый месяц вегетации. Масса клубней при этом уменьшилась на 23-40%; ботвы – 10-27%. Накопление сухой массы клубней от общего ее количества уменьшилось на 9-10%; ботвы – 6-40%. Доза цинка 50 мг/кг вызывала некоторую стимуляцию роста картофеля. На этом варианте уже в бутонизацию сухая масса ботвы достигла максимума. К фазе цветения темпы прироста сухой массы, как клубнями, так и ботвой, выравнивались и составили соответственно 64-66% и 10-18% (на фоновом варианте 69 и 10%). Исключением, как и в фазу бутонизации, явился 2-й вариант, на котором прирост сухой массы клубней составил 76%, а масса ботвы уменьшилась на 10%. К уборке масса клубней во всех вариантах с цинком превышала массу на фоновом варианте. Максимальная сухая масса отмечена в варианте с дозой цинка 100 мг/кг. Прибавка по сравнению с фоном составила 18 г/растение или 24%. При этом в 3,4 и 5-ом вариантах прирост сухой массы клубней составил 21-23% по сравнению с 5-9% в 1 и 2-ом вариантах. Увеличение дозы цинка до 500 мг/кг почвы обеспечивало рост сухой массы ботвы в 1,6 раза по сравнению с фоном.

Значительные изменения в обмене веществ, вызванные цинком и отражающиеся на росте и развитии растений показаны еще в работах Демиденко Т.Т., Поповой А.А. (1951); Пейве Я.В. (1956); Минеева В.Т. (1989); Rosell R.A., Ultrich A. (1964); Серегин И.В. (2009).

Большинство литературных данных свидетельствуют о снижении продуктивности с-х растений под влиянием высоких концентраций ТМ (Broyer, 1972; Vigue, 1981; Юдинцева и др., 1990; Stenlid, 1977). Вместе с тем встречаются исследования, показывающие, что фитотоксичность ТМ в значительной степени определяется биологической принадлежностью растений к тем или иным группам (Ковда и др., 1979; Jarvis et al., 1976; Page et al., 1972; Ernst, и др., 1976). Наблюдаемые положительные явления в исследовании указанных авторов объясняются, скорее всего, не биологической необходимостью тяжелых металлов, а стимулирующей интоксикацией организма под действием микродоз ядовитых веществ (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Изучая реакцию картофеля в диапазоне концентраций цинка 50, 100, 300, 500 мг/кг почвы цинка и свинца мы установили, что урожайность практически не изменялась при внесении тяжелых металлов (табл. 1).

Так, при внесении цинка в почву в дозе 100 мг/кг получено достоверное увеличение урожайности 4,9 т/га. Даже при очень высоком загрязнении почвы цинком урожайность картофеля не снижалась по

сравнению с фоновым вариантом. При загрязнении почвы свинцом урожайность картофеля была либо выше, либо оставалась на уровне фонового варианта. Максимальная урожайность картофеля отмечена при загрязнении почвы свинцом на уровне на уровне 100 мг/кг.

1. Влияние загрязнения почвы Zn и Pb на урожайность картофеля

Варианты опыта	Урожайность	
	т/га	% к контролю
1. NPK	20,1	100
2. NPK+Zn 50	21,9	109
3. NPK+Zn 100	25,0	124
4. NPK+Zn 300	22,4	111
5. NPK+Zn 500	20,5	102
6. NPK+Pb 50	26,7	133
7. NPK+Pb 100	27,7	138
8. NPK+Pb 300	26,2	130
9. NPK+Pb 500	26,3	131
HCP ₀₅ Zn	4,5	
Pb	4,2	

Таким образом, оценка действия ТМ на растения очень сложна, т.к. она зависит от множества факторов. Отрицательное действие тяжелых металлов проявляется, в основном, в начальный период роста. При определенной концентрации, для картофеля не превышающей 300 мг/кг, нами наблюдалась стимуляция накопления сухой массы под влиянием ТМ.

Динамика и трансформация доступных форм азота в почве садовых агроценозов под влиянием минеральных удобрений

Роева Т.А.

ФГБНУ ВНИИСПК, Орловская область, д. Жилина

В полевых опытах с яблоней и вишней изучалось влияние разных видов возрастающих доз азотных и калийных удобрений на концентрацию и трансформацию минерального азота в профиле серой лесной почвы. Установлено, что в опыте с яблоней стабильно более высокий уровень минерального азота обеспечивала аммиачная селитра в дозе 90 кг д.в./га.

В опыте с вишней к аналогичному эффекту приводила доза мочевины N120. Особенности трансформации минеральных соединений азота в почвах под плодовыми культурами определялись гидротермическими условиями, потребностями и предпочтениями самих культур и химическими особенностями вносимых азотных удобрений. Дозы азотных удобрений, превышающие по действующему веществу N90 в молодых садах могут приводить к накоплению в верхних слоях почвы избыточных количеств нитратов и повышать риск потерь азота при вымывании.

В условиях интенсификации садоводства, направленного на уменьшение размера деревьев, сокращение сроков вступления в плодоношение, уплотнение насаждений, особое место принадлежит обеспечению плодовых растений элементами питания, в том числе азотом, который необходим на всех этапах жизненного цикла – от проростков до старых деревьев. Азотные удобрения одни из самых используемых и в то же время одни из самых дорогостоящих, поэтому для их экономического использования и минимизации потерь необходимо детальное изучение азотного режима почвы садовых агроценозов, в том числе тщательная оценка процессов трансформации соединений азота. В настоящее время работ, посвященных данному вопросу, крайне мало [1, 3].

Цель исследований – изучить в динамике концентрацию минеральных форм азота в профиле серой лесной почвы в насаждениях яблони и вишни при внесении разных видов азотных удобрений.

Объектом исследования являлась серая лесная среднесуглинистая почва полевых опытов с молодыми деревьями яблони сорта Синап Орловский и вишни сорта Тургеневка. Опыт заложен в садовом массиве ФГБНУ ВНИИСПК (Орловская область). Агрохимические показатели

почвы перед закладкой опыта в слое 0-20 см: рНКCl-5,4, Нобщ.- 3,4 мг-экв/100г, гумус – 3,7%, подвижный P₂O₅ – 152 мг/кг, обменный K₂O – 120 мг/кг.

Схемы опытов включают возрастающие дозы азотных и калийных удобрений: варианты опыта с яблоней - 1. Контроль (без удобрений); 2. N₃₀K₄₀; 3. N₆₀K₈₀; 4. N₉₀K₁₂₀; варианты опыта с вишней - 1. Контроль; 2. N₃₀K₄₀; 3. N₆₀K₈₀; 4. N₉₀K₁₂₀; 5. N₁₂₀K₁₆₀. Повторность опыта 3-х кратная, в варианте 5 учетных деревьев. Расположение делянок систематическое. Удобрения вносились рано весной в виде аммиачной селитры и хлористого калия в опыте с яблоней, в виде мочевины и сульфата калия – в опыте с вишней.

Содержание нитратного азота определялось потенциометрически (ГОСТ 26488-85), аммиачного азота – с реактивом Несслера (ГОСТ 26489-85). Полученные данные обработаны методом двухфакторного дисперсионного анализа.

Исследования проводились в 2017 году, с мая по сентябрь в опыте с яблоней, с июня по август – в опыте с вишней. Период с мая по август характеризовался нормальными и избыточными условиями увлажнения (ГТК 1,2...1,7), август был засушливым (ГТК 0,4). Температура воздуха периода вегетации была близка к среднемноголетним значениям.

Наблюдения за динамикой минерального азота в почве под яблоней (таблица 1) показали, что для неудобренной почвы характерно более высокое значение показателя в мае, далее в период с июня по август произошло двукратное уменьшение количества минерального азота, что связано с интенсивным потреблением растениями.

1. Динамика минерального азота ($\Sigma (N-NH_4 + N-NO_3)$, мг/кг) в почве яблоневого сада при внесении минеральных удобрений (слой 0-20 см)

Сроки отбора проб (фактор А)	Дозы удобрений (фактор В)				Средние А
	Контроль	N ₃₀ K ₄₀	N ₆₀ K ₈₀	N ₉₀ K ₁₂₀	
Май	22,02	31,57	30,75	62,98	36,82
Июнь	17,48	17,42	65,17	63,56	40,91
Июль	10,26	12,05	10,48	34,44	16,81
Август	9,86	14,37	14,65	41,55	20,06
Сентябрь	14,65	15,18	19,30	22,46	17,90
Средние В	14,85	18,12	28,03	45,00	
HCP ₀₅ A = 23,32 HCP ₀₅ B = 20,86 HCP ₀₅ AB = 46,64					

В сентябре концентрация минеральных форм азота увеличилась. Такая динамика была характерна и для удобренных вариантов, за исключением самой высокой дозы удобрений, где концентрация минерального азота постепенно падала к концу вегетации.

При оценке уровня обеспеченности азота в почве мы опирались на шкалу, предложенную учеными из Краснодара Поповой и соавторами [2]: низкий уровень – 10...20 мг/кг, средний уровень – 20...30 мг/кг, высокий уровень – 30...60 мг/кг.

Согласно этим грациям, содержание минерального азота в почве контрольного варианта в мае находилось на среднем уровне, в остальные месяцы – на низком уровне.

В слое 0-20 см при внесении N30 концентрация минерального азота достигла высокого уровня только в мае, внесение N60 привело к увеличению показателя до высокого уровня в мае-июне. При внесении N90 минеральный азот был на высоком уровне с мая по август, а в нижележащих слоях 20...40 и 40...60 см в мае и июне показатель держался на среднем уровне.

В опыте с вишней (таблица 2) концентрация минерального азота на контроле и при внесении N30 снижалась от июня к июлю, а затем увеличивалась в августе. При внесении более высоких доз в слое 0-20 см концентрация показателя снижалась к концу вегетации.

2. Динамика минерального азота ($\Sigma (\Sigma (N-NH_4 + N-NO_3)$, мг/кг) в почве вишневого сада при внесении минеральных удобрений (слой 0-20 см)

Сроки отбора проб (фактор А)	Дозы удобрений (фактор В)					Средние А
	Контроль	N30K40	N60K80	N90K120	N120K160	
Июнь	21,2	35,2	64,9	50,7	77,7	49,9
Июль	6,2	10,1	38,4	38,5	81,9	35,0
Август	12,2	21,2	17,1	14,6	40,0	21,0
Средние В	13,2	22,2	40,1	34,6	66,5	
HCP ₀₅ A = 24,14 HCP ₀₅ B = 31,16 HCP ₀₅ AB = 53,98						

В почве контрольного варианта содержание минерального азота во всех слоях почвы было на низком уровне. В слое 0-20 см действие доз N30 и N60 было таким же как на яблоне: концентрация минерального азота достигла высокого уровня в мае и мае-июне. В отличие от яблони, где аммиачная селитра в дозе 90 кг д.в./га обеспечивала высокий уровень минерального азота более длительное время – с мая по август, в опыте с вишней к аналогичному эффекту приводила доза мочевины N120.

При внесении мочевины в дозах 30...90 кг мы наблюдали увеличение минерального азота в нижележащих слоях только в июне: его содержание в слое 20-40 см стало высоким, в слое 40-60 см - средним. Доза мочевины 120 кг обеспечила высокий уровень показателя как в слое 20-40 см на протяжении июня-августа, так и в слое 40-60 см в июне.

В почве обоих опытных участков аммиачная форма азота преобладала над нитратной. На контроле содержание аммонийного азота в слое почвы 0-60 см варьировало в пределах 4,0...23 мг/кг, нитратного – 0,03...2,6 мг/кг. При внесении в почву под яблоню возрастающих доз аммиачной селитры, являющейся источником как аммонийной, так и нитратной форм азота, наблюдался рост доли нитратов в почве и снижение доли аммония. Внесение наибольшей дозы N90 способствовало стабильному увеличению доли нитратной формы азота (на 17-67%) в почве на протяжении всего периода вегетации, причём в июле и августе в этом варианте уровень нитратного азота превысил уровень аммиачного.

Мочевина, внесенная под вишню, содержит азот в амидной форме, который восстанавливается в почве до иона аммония. Однако при внесении мочевины в почве наблюдалась более высокая доля нитратов, чем при внесении селитры, в состав которой нитраты входят изначально. Это показывает, что внесённая мочевина была основным субстратом для процесса нитрификации.

Несмотря на более высокое содержание аммонийного азота, содержание нитратов было более динамично меняющимся показателем минерального азота в почве.

В почве под яблоней концентрация нитратного азота, во всех вариантах опыта в верхнем слое почвы, увеличивалась от мая к августу и снижалась к сентябрю. Это показывает, что на динамику данного показателя влияют не только вносимые азотные удобрения, но и микробиологические процессы, такие как нитрификация. В более глубоких слоях было характерно накопление нитратов во второй половине периода вегетации. Во влажных условиях периода исследований это свидетельствует прежде всего о вымывании нитратов.

Динамика нитратов в почве вишневого сада значительно отличалась от динамики нитратов в почве под яблоней, что может быть связано как с различным химизмом вносимых удобрений, так и с возможными различиями изучаемых культур в потреблении разных форм минерального азота.

В опыте с вишней при внесении аналогичных по действующему веществу доз азота в начале периода вегетации содержание в почве нитратов было в 2-6 раз выше, чем в опыте с яблоней. Но в дальнейшем

практически во всех вариантах наблюдалось резкое снижение показателя до минимальных значений в августе. Стабильно высокое содержание нитратов во всех слоях почвы наблюдалось при внесении мочевины в дозе N120.

В результате проведенных исследований установлено, что особенности трансформации минеральных соединений азота в почвах под плодовыми культурами определяются гидротермическими условиями, потребностями и предпочтениями самих культур и химическими особенностями вносимых азотных удобрений. Дозы азотных удобрений, превышающие по действующему веществу N90 в молодых садах могут приводить к накоплению в верхних слоях почвы избыточных количеств нитратов и повышать риск потерь азота при вымывании.

Литература

1. Кузин А. И. Содержание легкогидролизуемого азота как важный показатель для диагностики питания яблони в Центрально-черноземном регионе / КубГАУ, 2014. №102(08).
2. Попова В.П., Сергеева Н.Н., Фоменко Т.Г., Пестова Н.Г. Совершенствование методов оценки плодородия почв садовых ценозов // Научные труды СКЗНИИСиВ РАН. 2016. №9. С.122-130.
3. Роева Т.А., Леоничева Е.В., Леонтьева Л.И., Столяров М.Е. К вопросу об азотном режиме почвы в молодом вишневом саду /Селекция и сорторазведение садовых культур. 2018. Т.5. №1. С. 113-117.

Минерализация органического вещества и секвестрация углерода в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве полевого опыта с удобрениями

Тулина А.С.¹, Налиухин А.Н.²

¹ *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино,*

² *Вологодская государственная молочнохозяйственная академия, г. Вологда*

ВВЕДЕНИЕ

Способность почвы удерживать (секвестрировать) углерод зависит от количества и качества поступающих в нее органических материалов, свойств почвы и климатических условий. На секвестрацию углерода оказывает влияние пополнение почвы элементами минерального питания растений, что увеличивает продукцию биомассы и превращение её в почвенное органическое вещество (ПОВ), поэтому применение удобрений может способствовать накоплению ПОВ в сельскохозяйственных почвах, особенно в умеренном влажном климате и на бедных почвах легкого гранулометрического состава. В отсутствие эрозии основной причиной потерь ПОВ является минерализация.

Содержание в почве потенциально-минерализуемого углерода (Спм), оцениваемое методом биокинетического фракционирования, позволяет оценить потери органического вещества при минерализации и почвенную эмиссию диоксида углерода (СО₂) за вегетационный период, связанную с минерализацией ПОВ. Чем больше минерализуемый пул и микробная биомасса, тем менее устойчиво ПОВ и тем больше потенциальные потери углерода.

Целью исследования было определить запасы потенциально-минерализуемого и устойчивого углерода в 0-20см слое почвы трехлетнего полевого опыта и оценить углеродный баланс в зависимости от применения удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенные образцы были отобраны из 0-20см слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы опытного поля ВГМХА имени Н.В. Верещагина перед закладкой полевого опыта в мае 2015 года и через три года его проведения в сентябре 2017 года. В 2015 году выращивали вико-овсяную смесь на зелёную массу, в 2015-2016 – озимую пшеницу, в 2017 – ячмень с подсевом клевера. Варианты опыта: 1. Контроль (без удобрений); 2. навоз КРС на опилочной подстилке 50 т/га; 3. НРК

(сложносмешанное азотно-фосфорно-калийное удобрение 15:15:15 + 7% S на основе сульфата аммония, аммофоса и хлористого калия); 4. NPK + навоз; 5. ОМУ (гранулированное органоминеральное удобрение, соотношение азота; фосфора и калия 7:7:8 + микроэлементы); 6. чистый пар.

Навоз вносили в 2015 году, а минеральные удобрения и ОМУ – ежегодно.

Для сравнения с пахотными почвами были отобраны образцы из 0-20см слоя почв 25-летней залежи и соснового леса.

Воздушно-сухие образцы почв инкубировали в течение 150 суток при температуре 22°C и влажности 25 вес. %. Количество выделяющегося из почвы CO₂ определяли ежедневно в течение первой недели эксперимента, затем – три, два и один раз в неделю. Концентрацию CO₂ в газовых пробах измеряли на хроматографе Кристалл Люкс 4000M. По кумулятивному количеству выделившегося за 150 суток инкубации углерода, входящего в состав диоксида (C-CO₂), рассчитывали величину пула Спм в почве, а по кумулятивному продуцированию C-CO₂ за первые 14 суток инкубации – содержание углерода микробной биомассы (Смб) в соответствии с методом биокинетического фракционирования. Вычисления проводили методом нелинейной оценки программы Statistica 6.0. Коэффициенты уравнений с уровнем значимости P > 0,05 отвергались.

Секвестрацию углерода в 0-20см слое почвы оценивали по содержанию устойчивого углерода (Сууст), рассчитываемого по разнице между содержанием общего органического углерода (Сорг) и Спм.

Полевой опыт и отбор почвенных проб выполнен в ВГМХА, а лабораторный эксперимент, необходимые анализы и расчёты проведены в ИФХиБПП РАН.

Исследования осуществлены согласно договору о научном сотрудничестве между двумя организациями.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАОВ

Перед началом проведения опыта изучаемые участки характеризовались примерно равным содержанием углеродных пулов (табл. 1). Через три года выращивания сельскохозяйственных культур, внесения удобрений и обработки почвы заметно увеличилось как абсолютное, так и относительное содержание потенциально-минерализуемого углерода. На варианте «чистый пар», не смотря на отсутствие поступления свежих органических материалов, Спм в 2017 году не уменьшился по сравнению с 2015 годом, что указывает на активно

продолжающуюся минерализацию почвенного органического вещества, которая привела к значительному уменьшению пула устойчивого углерода (-2,8 тС/га) на этом варианте опыта.

1. Содержание общего органического (Сорг), потенциально-минерализуемого (Спм) и устойчивого (Суст) углерода в 0-20 см слое почвы полевого опыта, залежи и леса

Место отбора почвенного образца		Сорг, %	Спм		С уст, т/га	Сорг, %	Спм		Суст, т/га
			% от С орг	т/га			% от С орг	т/га	
		Май 2015 года					Сентябрь 2017 года		
Полевой опыт	Без удобрений	1,85	3,2	1,5	44,8	1,84	3,6	1,7	44,3
	Навоз	1,80	3,1	1,4	43,6	1,90	3,4	1,6	45,9
	НПК	1,71	3,3	1,4	41,4	1,78	3,8	1,7	42,8
	НПК+навоз	1,90	3,2	1,5	46,0	1,94	3,7	1,8	46,7
	ОМУ	1,89	3,2	1,5	45,8	1,91	4,0	1,9	45,8
	Чистый пар	1,82	3,2	1,4	44,1	1,71	3,3	1,4	41,3
Естеств. ценозы	Залежь	-	-	-	-	2,53	3,3	2,1	61,2
	Лес	-	-	-	-	3,45	4,7	4,0	82,2

Наибольшее увеличение секвестрации углерода за три года проведения опыта отмечается на варианте с применением навоза (+2,3 тС/га). В вариантах «НПК» и «навоз+НПК» также отмечается увеличение содержания Суст (+1,4 и +0,7т/га, соответственно).

Внесение ОМУ, вызывая наибольшее увеличение минерализуемого пула углерода, не приводило к накоплению устойчивого углерода в почве. В вариантах «НПК», «навоз+НПК» и «ОМУ» минерализуемый пул углерода был больше, а устойчивый пул углерода – меньше, чем в варианте с внесением одного навоза, что объясняется стимулированием минерализации азотом, вносимым в минеральной форме.

На контроле (без внесения удобрений) секвестрация углерода через три года снизилась на 0,5т/га, что может быть обусловлено недостаточным поступлением свежего органического вещества в почву. Содержание устойчивого углерода в почве полевого опыта было в 1,4 раза меньше, чем в почве залежи, и практически вдвое меньше, чем в почве из-под леса. В пахотных почвах, по сравнению с почвами естественных экосистем, секвестрируется меньше углерода, что связано с отчуждением части растительной биомассы и механическими обработками почвы.

С другой стороны, почва из-под леса и залежи содержала также больше минерализуемого углерода, а значит, из неё может теряться больше органического вещества с диоксидом углерода.

Анализ баланса углерода (табл. 2) показал, что прирост содержания Сорг в почве зависел не только от его поступления с корне-поживными остатками, побочной продукцией культур и вносимыми удобрениями, но и от интенсивности минерализации, на которую влиял размер микробного сообщества (рис. 1).

2. Баланс углерода в почве за три года проведения полевого опыта

Вариант	Приход, т С/га			Прирост Сорг	
	РО	У	сумма	т/га	% от прихода
Без удобрений	3,0	-	3,0	- 0,3	- 8
Навоз	4,0	3,6	7,6	2,5	33
NPK	4,8	-	4,8	1,8	36
NPK+навоз	6,0	3,6	9,6	1,0	10
ОМУ	5,1	0,6	5,7	0,5	9
Чистый пар	-	-	-	-2,8	-

Примечание: РО – растительные остатки, У – навоз и ОМУ.

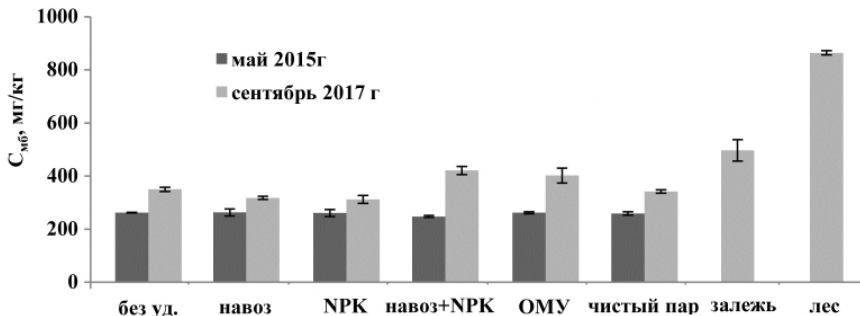


Рис. 1. Содержание микробной биомассы (С_{мб}) в почве полевого опыта, залежи и леса, мг/кг

Так, в почве вариантов «навоз» и «NPK» содержалось меньше микробной биомассы, ответственной за минерализацию, и оставалось больше поступившего в неё за три года углерода, чем в вариантах «навоз + NPK» и «ОМУ». Недостаточное поступление свежего органического вещества в варианте без внесения удобрений и отсутствие прихода органических материалов в варианте «чистый пар» при том, что в содержание С_{мб} в почве не уменьшалось, не снижалась и скорость минерализации, привело к убыли содержания Сорг в почве.

ВЫВОДЫ

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва полевого опыта удерживала в устойчивом состоянии (секвестрировала) в среднем в 1,4 и 1,8 раза меньше углерода и содержала в 1,2 и 2,4 раза меньше потенциально-минерализуемого углерода по сравнению с почвой 25-летней залежи и почвой из-под хвойного леса, соответственно.

В варианте без внесения удобрений и варианте «чистый пар» за три года проведения опыта наблюдалась убыль устойчивого углерода, и не наблюдалось убыли потенциально-минерализуемого углерода по сравнению с исходной почвой.

Из вариантов с внесением удобрений наибольшая дополнительная секвестрация углерода и наименьшая минерализация органического вещества отмечена в варианте «навоз». С навозом азот поступает в почву в основном в органической форме, а для эффективной минерализации органического вещества необходимы минеральные соединения азота.

Работа выполнена в рамках государственного задания рег. NoAAAA - A18 -118013190177-9.

**Калийное состояние каштановых почв в зависимости
от длительности орошения и возрастающих доз
калийных удобрений под картофель**

Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л.

*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
г. Улан-Удэ*

Длительное орошение каштановых супесчаных почв Забайкалья привело к снижению валового содержания калия за счет уменьшения его структурной формы. Такое же действие отмечено при использовании фоновых удобрений (NPS) и высоких доз K180-360 под картофель. Отмечено, что картофель интенсивно поглощает водорастворимый калий, его концентрация не достигла 1 мг/100 г, даже при высоких дозах. По сравнению с исходным количеством обменного калия в почве к концу опыта выявлено его существенное снижение. Для восстановления оптимально обеспеченного калийного состояния каштановых почв нужно чередовать культуры с разным уровнем выноса калия.

Калий играет огромную роль в регулировании процессов перераспределения ассимилятов между вегетативными и запасующими органами картофеля. При его недостатке у картофеля замедляется рост и цветение, меняется форма куста, уменьшается размер клубней, их форма становится удлинённой, снижается содержание крахмала. Поскольку калий влияет на отток углеводов и усложнение их структуры, то дефицит калийного питания нарушает в первую очередь углеводный метаболизм и ухудшает качество клубней картофеля (Коршунов, 2001), приводит к ослаблению устойчивости культур к возбудителям заболеваний, как в период роста, так и при хранении. Особенно большое значение имеет обеспеченность калием растений картофеля в условиях орошения, когда интенсивность его выноса существенно возрастает и запасы этого элемента в почве со временем снижаются. Для поддержания плодородия почв, их калийного фонда и увеличения урожая картофеля, его качества и сохранности клубней при лёжке необходимо применение калийных удобрений.

Доступность калия растениям зависит от превращений его подвижных и неподвижных форм в почвах, то есть процессов мобилизации и иммобилизации питательного элемента. Выраженность этих процессов определяется рядом факторов: типом почвы, степенью насыщенности её калием, минералогическим составом, содержанием илистой

фракции и энергией связи калия с гранулометрическими фракциями, внесением удобрений, фиксирующей способностью, а также их водным режимом (Конончук, Никитина, 2002; Якименко, 2003). В почвах фиксация калия осуществляется в основном минералами с лабильной кристаллической структурой (Середина, 2003; Абидуева, Соколова, 2005). Установлена достаточно высокая фиксирующая способность каштановых почв в отношении калийных удобрений, до 44% необменно закрепляется почвой.

Каштановые почвы Забайкалья, несмотря на высокое валовое содержание калия, характеризуются в основном низким и очень низким количеством его обменной формы, что обусловлено особенностями калийного состояния. Динамика содержания обменного калия в этих почвах выявила низкую его вариабельность, как в течение вегетационного периода, так и по годам. Основной причиной недостаточного образования подвижно-обменных форм калия в каштановых почвах является неблагоприятный водный режим. Поэтому для картофеля, как культуры высокого выноса, особенно при орошении, необходимо внесение калийных удобрений.

Калийный фонд почвы (по Пчелкину) представлен четырьмя взаимосвязанными формами, основываясь, прежде всего, на прочности связи тех или иных групп катионов калия с почвенной твердой фазой: калий водорастворимый – обменный – необменный – минерального скелета (структурный).

Длительное орошение (15 лет) пахотной каштановой супесчаной почвы под овощными агроценозами без внесения компенсационных доз калийных удобрений достоверно снизило запасы валового калия в корнеобитаемом слое по сравнению с целинным аналогом (табл. 1) за счет уменьшения содержания его структурной формы. Известно, что при орошении происходит постепенное растворение минералов, гидролиз расположенных на их поверхности соединений, внедрение катионов раствора в межслоевое пространство набухающих минералов, особенно в верхнем слое почвы. Механизм разрушения минералов водой состоит в удалении катионов с поверхности в межслоевых промежутках набухающих минералов и в октаэдрах и тетраэдрах минералов, что приводит к уменьшению запасов зольных элементов (Лабенец и др., 1974). Относительно высокое содержание калия в гранулометрических фракциях каштановых почв, кроме илистой, определялось их обогащенностью полевыми шпатами. Количество калия постепенно и закономерно уменьшалось от крупного песка к илу. Длительное орошение снизило концентрацию калия в иле, что привело

к уменьшению обогащенности почв обменным калием, что, по-видимому, характерно для почв сухостепной зоны (Меркушева и др., 2008).

1. Содержание форм калия (K_2O) в неорошаемых и орошаемых каштановых супесчаных почвах

Горизонт, глубина, см	Квал., % (n=5)	Запасы, т/га 0-20 см 0-50 см	Водорас- твори- мый	Об- мен- ный	Необ- мен- ный	Струк- тур- ный	$\frac{K}{\text{необм.}}$ К обм.
			мг/100 г				
<i>Целина</i>							
Ad 0-5	2,95±0,15	75,0±2,9	3,5	8,6	78,9	2759,0	9,2
A1 5-25	2,65±0,14	192,0±6,9	1,1	7,6	67,8	2573,5	8,9
AB 30-40	2,57±0,15	t*=2,9	0,6	3,0	27,1	2539,3	9,0
BCa 50-70	3,20±0,17		0,6	6,4	41,9	3141,1	6,5
C 90-100	2,95±0,16		0,8	4,8	52,4	2895,0	10,9
<i>Пашня орошаемая</i>							
Апах 0-25	2,36±0,12	62,3±3,2	0,8	10,7	116,3	2237,2	10,9
AB 30-40	2,50±0,13	168,5±6,2	0,6	5,2	37,5	2460,7	7,2
BCa 50-70	3,03±0,17	t*=2,5	0,4	6,8	56,0	2963,8	8,2
C 90-100	3,01±0,17		0,4	4,4	57,6	2951,6	13,1

Примечание: * – коэффициент Стьюдента

Выращивание культур высокого выноса калия в условиях орошения привело, согласно градациям В.Н. Якименко (2003), практически к истощенному калийному состоянию пахотного горизонта по отношению $K_{\text{необм.}}$: $K_{\text{обм.}}$, что подтверждается также снижением содержания водорастворимой формы и уменьшением обменной с глубиной профиля (рис. 1А).

Значительные запасы калия в почвах и динамическое равновесие между различными его формами затрудняют выбор показателей, характеризующих способность почвы обеспечить калийное питание растений (Минеев, 1999). В той или иной степени, прямо или косвенно в процесс обеспечения растений калием вовлекаются все формы калия. Поэтому невосполнение за счет калийных удобрений приводит к ухудшению плодородия почв в отношении этого элемента.

Следует отметить, что после окончания опытов срок орошения составил 20 лет, а содержание валового калия в контроле каштановой супесчаной почвы уменьшилось по сравнению с 15 летним орошением (табл. 1).

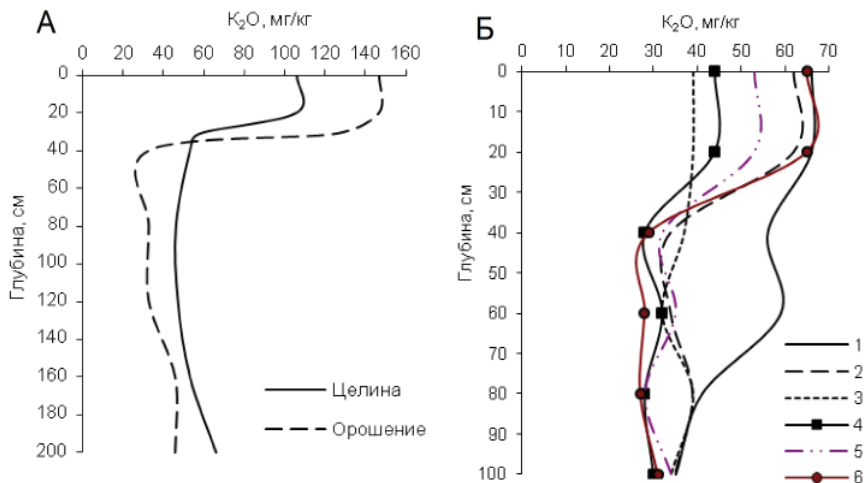


Рисунок 1. Содержание и распределение обменного K_2O (по Мачигину):
А – в неорошаемых и орошаемых каштановых почвах; **Б** – после 3-х лет внесения возрастающих доз калийных удобрений. Усл. обозн.: 1 – контроль; 2 – N120P60S30 – фон; 3 – фон + K60; 4 – фон + K120; 5 – фон + K180; 6 – фон + K360

По нашим данным, невнесение калийных удобрений (фон) снизило количество обменного, необменного и структурного калия, в результате чего уменьшилось содержание и валового K_2O (табл. 2). Возрастание размеров доз калия после трех лет его внесения способствовало повышению содержания водорастворимой и обменной форм калия, тогда как концентрация необменной формы достоверно возросла только при внесении K360. Использование доз K180 и K360 снизило содержание структурного калия, как и невнесение калийных удобрений. Калийное состояние почв в контроле и особенно фоновом варианте отнесено к слабообеспеченным. После трех лет внесения возрастающих доз калийных удобрений повышало его до оптимально обеспеченных градаций.

Распределение обменного калия по почвенному профилю каштановой супесчаной почвы выявило, что калий удобрений преимущественно закрепляется в пахотном горизонте (рис. Б), что неоднократно отмечалось ранее (Убугунов, Убугунова, 1999; Меркушева и др., 2006). На легких же почвах миграция калия наблюдается до 100 см (Прокошев, Дерюгин, 2000).

2. Содержание форм калия (K_2O) в каштановой почве (слой 0 - 20 см) после 3-х лет внесения калийных удобрений под орошаемый картофель, мг/100 г

Вариант	Валовой	Водорастворимый	Обменный	Необменный	Структурный	Кнеобм./Кобм.
Контроль	2000	0,42	8,5	85,0	1906,1	10,0
N120P60S30 – фон	1840	0,50	7,4	78,8	1753,3	10,6
Фон + K60	2000	0,56	9,8	80,0	1909,6	8,2
Фон + K120	2000	0,62	10,2	81,6	1907,6	8,0
Фон + K180	1930	0,75	11,5	83,1	1834,6	7,2
Фон + K360	1940	0,85	12,6	88,8	1837,7	7,0
HCP ₀₅ , мг/100 г	50	0,04	1,6	3,0	16,2	

Баланс калия после 3-х лет внесения возрастающих доз калийных удобрений при выращивании картофеля на орошаемой каштановой супесчаной почве был отрицательным, кроме варианта K360 (табл. 3). Известно, что при положительном балансе калия происходит накопление в почве его обменной формы (Якименко, 2009). Однако при положительном балансе в варианте K360 накопление обменного калия не произошло по сравнению с его исходным количеством (табл. 3). Это связано с тем, что при возделывании картофеля на легких почвах обогащение их обменным калием за счет минеральных удобрений идет очень медленно (Пухальская и др., 2009). Возможно, это связано с бесменным возделыванием картофеля в монокультуре.

3. Баланс калия (K_2O) и изменение содержания его обменной формы в каштановой почве под орошаемым картофелем после 3-х лет внесения возрастающих доз калийных удобрений, среднее за три года

Вариант	Внесено K_2O , кг/га	Вынос, K_2O , кг/га	Баланс, +/-, кг/га	Интенсивность баланса, %	Содержание K_2O (по Мачигину), мг/кг		Прирост (+), убыль (-), мг/кг
					исходное	конечное	
Контроль	0	128,3	-128,3	0	100	66	-34
N120P60S30 – фон	0	139,6	-139,6	0	100	62	-38
Фон + K60	60	170,7	-110,7	35,1	100	39	-61
Фон + K120	120	204,1	-84,1	58,8	100	44	-56
Фон + K180	180	234,2	-54,2	76,9	100	53	-47
Фон + K360	360	258,4	+101,6	139,3	100	65	-35

Таким образом, длительное орошение каштановых супесчаных почв привело к снижению валового содержания калия за счёт уменьшения его структурной формы. Такое же действие отмечено при использовании фоновых удобрений (NPS) и высоких доз K₁₈₀₋₃₆₀. Отмечено, что картофель интенсивно поглощает водорастворимый калий, его концентрация не достигла 1 мг/100 г, даже при высоких дозах. По сравнению с исходным количеством обменного калия в почве к концу опыта выявлено его существенное снижение. Для восстановления оптимально обеспеченного калийного состояния каштановых почв нужно чередовать культуры с разным уровнем выноса калия.

Литература

1. Абидуева Т.В., Соколова Т.А. Глинистые минералы и калийное состояние степных почв Западного Забайкалья. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 100 с.
2. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светлокаштановой почвы при орошении // Агрохимия. – 2002. – № 6. – С. 53-58.
3. Коршунов А.В. Управление урожаем и качеством картофеля. – М.: ВНИИКК, 2001. – 369 с.
4. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б., Беденко В.П., Третьяков Н.Н., Пильщикова Н.В., Горшкова Т.А., Жученко А.А., Чемикосова С.Б., Агеева М.В., Курчакова Э.Н., Гуляев Б.И., Головкин Т.К., Пухальская Н.В., Темирбекова С.К. Частная физиология полевых культур. – М.: КолосС, 2005. – 344 с.
5. Лабенец Е.М., Горбунов Н.И., Шурина Г.Н. Прогноз изменений свойств почв и разрушения минералов под влиянием воды и растворов // Почвоведение, 1974. – № 4. – С. 130-146.
6. Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л., Болонева Л. Н. Калийное состояние неорошаемых и орошаемых аллювиальных дерновых почв Забайкалья // Агрохимический вестник. – 2008. – № 4. – С. 10-11.
7. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
8. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Изд-во Ледум, 2000. – 185 с.
9. Пухальская Н.В., Сычев В.Г., Собачкин А. А., Павлова Н.И. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях. – М.: ВНИИА, 2009. – 192 с.
10. Середина В.П. Калийное состояние почв и факторы его определяющие (на примере почв Западно-Сибирской равнины): Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – Томск: ТГУ, 2003. – 42 с.
11. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Калийный фонд аллювиальных почв Байкальского региона // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 530-536.

Закономерности накопления углерода залежными землями юга Московской области

Баева Ю.И.

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
г. Москва

Введение. С начала 90-х годов XX века – периода стихийного забрасывания сельскохозяйственных угодий – устойчивым стоком CO₂ атмосферы являются бывшие пахотные земли. В настоящее время их роль в углеродном балансе весьма значительна [1, 5]. Так, согласно глобальным экспертным оценкам, средняя скорость накопления углерода в почвах вследствие перевода пахотных земель в луга или лесные насаждения составляет – 33 - 34 г С/м²/год [7].

Цель представленного исследования состоит в оценке изменений содержания углерода в серых лесных почвах в ходе их постагрогенного развития.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования выбраны бывшие пахотные земли Опытной-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН: паровое поле, залежи 9, 13, 22 и 37-летнего возраста, а также вторичный лиственный лес 65-летнего возраста, являющийся конечной стадией сукцессии [3].

Исследования проведены на базе лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино). Содержание общих форм углерода (Собщ) определяли в пробах, отобранных методом конверта из четырех почвенных слоев (0-5 см, 5-10 см, 10-20 см и 20-30 см), на элементном CHNS анализаторе фирмы Лесо (США) в 2(4)-х кратной повторности. На рисунках представлены средние значения и величины стандартной ошибки при уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования показывают, что во всех почвах залежного хроноряда наибольшие уровни содержания общего углерода (Собщ) отмечаются в верхнем 5-ти сантиметровом слое. При движении вниз по профилю содержание углерода постепенно снижается (рисунок 1).

При этом для пашни характерно плавное снижение содержания Собщ с увеличением глубины (от 1,42 ± 0,03 % в слое 0 - 5см до 1,28 ± 0,06 % в слое 20 - 30 см). Максимальные же различия между слоями отмечены в почвах под лесным ценозом. Здесь содержание углерода снижается в 4,9 раза.

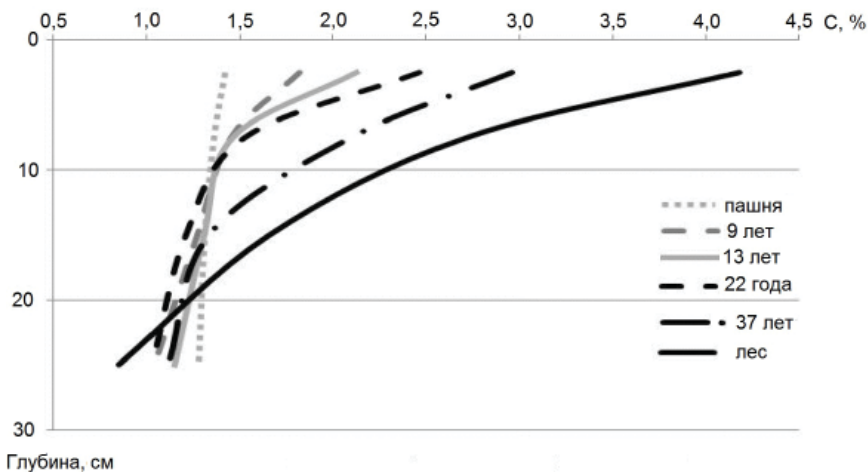


Рисунок 1. Содержания углерода в почвенном профиле

Такая картина обусловлена тем, что в процессе сельскохозяйственного использования почвы подвергаются интенсивной распашке, в результате которой нарушается целостность почвенной структуры. Резкие различия в содержаниях $C_{общ}$ в лесных почвах объясняются активно идущими процессами биологической аккумуляции органического вещества в верхнем слое за счёт разложения подстилки [3, 4].

Наряду с вышесказанным наблюдается отчётливая тенденция роста содержания углерода с увеличением возраста залежей в верхнем 10-ти сантиметровом слое (рис. 2). С глубиной данная тенденция ослабевает, и в слое 20-30 см достоверно значимых различий в содержание $C_{общ}$ в различных точках хроноряда не отмечается.

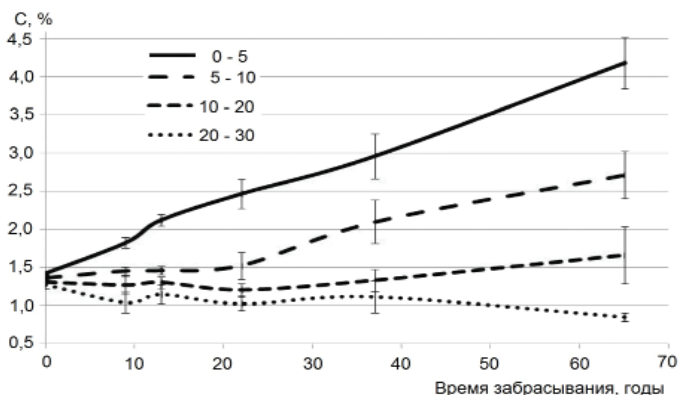


Рисунок 2. Содержание углерода в залежных почвах различного возраста

Низкие запасы углерода на пашне связаны с невысоким поступлением свежего органического вещества в эти почвы. После выведения пахотных серых лесных почв из сельскохозяйственного оборота на них начинает развиваться сорная растительность, которая со временем сменяется естественным зональным ценозом. Как следствие, в почвы поступает больше свежего органического материала в виде растительного и корневого опада. При этом отчуждение биомассы в виде урожая отсутствует. Все это способствует накоплению углерода в бывшем пахотном слое, особенно в верхней его части [2, 3, 6, 7].

Таким образом, на примере постагрогенных серых лесных почв, представляющих собой последовательные стадии естественной сукцессии на бывших сельскохозяйственных угодьях, показано, что перевод пахотных почв в залежные земли приводит к прогрессивному накоплению органического углерода, особенно в верхнем 10-ти сантиметровом слое, и запускает сложный процесс восстановления почвенного плодородия.

Литература

1. Люри Д.И., С.В. Горячкин, Н.А. Караваева, Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. Москва: ГЕОС, 2010. 416 с.
2. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мостовая А.С., Овсепян Л.А., Телеснина В.М., Личко В.И., Баева Ю.И. Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв в различных лесорастительных зонах Европейской части России // Лесоведение. 2018. №1. С.3-23.
3. Baeva Yu. I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Pochikalov A.V., Kudeyarov V.N. Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. №3. P.327-334.
4. Kalinina O, Goryachkin S.V, Karavaeva N.A Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. Vol. 152. p.35-42.
5. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. Assessment of changes in soil organic carbon storage in soils of Russia, 1990-2020 // Eurasian Soil Science. 2008. Supplement. Vol. 41. (13). P.1371-1377.
6. Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe // Geoderma. 2013.192. P.189-201.
7. Post W.M., Kwon K.C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // Global Change Biol. 2000. Vol. 6. P. 317-327.

Природно-ресурсный потенциал чернозёма выщелоченного и его рациональное использование

Кольцова О.М., Коровина А.Г.

*Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I, г. Воронеж*

Представлены экспериментальные данные об изменении природно-ресурсного потенциала чернозема выщелоченного в ходе длительного сельскохозяйственного использования, возможность диагностики его состояния по биологическим показателям и улучшения путем химической мелиорации

Почва – сложнейшая система, одним из основных функциональных компонентов которой являются населяющие ее живые организмы, от деятельности которых зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ. Почва – это продукт совместного воздействия климата, живых организмов (растений, животных, микроорганизмов) на поверхностные слои горных пород [1]. Именно эта сложнейшая система абиотических и биотических факторов формирует биоресурсный потенциал любой почвы и влияет на ее производительную силу. По данным Черникова верхний слой почвы состоит из минеральной субстанции - около 93% и органического вещества – 7%. В свою очередь, органическое вещество включает мертвое органическое вещество (85%), корни растений (1%) и эдафон – оставшиеся 5%. В структуру эдафона входят бактерии и актиномицета – до 40%, грибы и водоросли – 40, дождевые черви – 12, прочая микрофауна – 5 и мезофауна – 3% [2]. В зависимости от типа почвы и ее культурного состояния формируются и специфические качественные и количественные показатели биоресурсного потенциала почвенно-биотического комплекса, которые проявляются в колебании численности и структуры почвенной биоты и особенно микроорганизмов [3].

Интенсификация земледелия, в частности её важнейшая составная часть – химизация, существенно влияет на современный почвообразовательный процесс. Сохранение почвы как производительной силы возможно только при определенном уровне равновесия между её органической и минеральной частями [4]. В настоящее время в пахотных чернозёмах снижается содержание подвижных форм фосфора и калия, наблюдается прогрессирующее подкисление почвенного раствора, которое закономерно увеличивает дефицит кальция в почвенном поглощающем комплексе [5].

Наши исследования проводятся в условиях стационарного полевого опыта отдела химизации УНТЦ «Агротехнология» ВГАУ. Почва – чернозём выщелоченный среднемогучный малогумусный тяжело-суглинистый: рН_{сол} 4,84; Нг 7 мг-экв/100 г почвы; V – 85%; содержание гумуса – 4,2%, обогащенность чернозема выщелоченного по активности каталазы, фосфатазы и уреазы – бедная.

Как известно, основу любой экосистемы составляет её растительное сообщество, которое определяет количественный и качественный состав всех других групп организмов. Изменение видового состава растительного сообщества связано с переходом от поли- к моновидному составу агроэкосистемы (посев озимой пшеницы). Сообщество залежи представляет собой переходный период в восстановлении естественного сообщества по типу вторичной сукцессии [6].

Видовой состав растительного сообщества луга достаточно богат и разнообразен по видовому составу, в котором доминируют крупные злаки: овсяница луговая, костер безостый, пырей ползучий, тимофеевка луговая; из мелких злаков наиболее обилён мятлик луговой. Достаточно разнообразны представители бобовых, доминантами среди которых являются клевер луговой и ползучий. Представители разнотравья типичны для луговых сообществ средней полосы ЦЧР. В посевах пшеницы как сорные растения в основном встречаются: подмаренник цепкий, звездчатка злаковидная, вьюнок полевой, трёхреберник непахучий, цикорий обыкновенный. По окраинам поля – горец птичий. Более обильны эти растения на вариантах с органоминеральной системой удобрений. На мелиорированном варианте доминирует подмаренник цепкий.

В проводимых нами исследованиях установлено влияние состава ав-тотрофной группы на видовой и количественный состав насекомых, и других беспозвоночных в экосистемах. Выявлено закономерное сокращение как численности, так и обеднение видового состава насекомых монокультуры пашни – посев озимой пшеницы в сравнении с некосимым лугом, где травостой представлен хорошо сформированным разнотравно-крупнозлаковым сообществом, обеспечивающим практически 100% проективное покрытие. Наиболее многочисленное сообщество насекомых как в количественном, так и качественном отношении, сформировалось на лугу. Это разнообразие сохраняется в течение всего вегетационного периода.

Особенно разнообразным было сообщество насекомых в мае. Наибольшее количество – 30 шт., занимали в «укосе» различные мухи, достаточно обильно представлены отряды Долгоносиков, Муравьев и Тлевых : 12, 10 и 10 шт. соответственно.

Все эти изменения отразились на состоянии почвенно-биотического комплекса изучаемого чернозема и прежде всего на его кислотности, что показано результатами таблицы 1.

1. Физико-химические свойства чернозёма выщелоченного (в слое 0-20 см)

Виды экосистем и варианты опыта	pH _{KCl}	Hг	S	V, %
		мг-экв/100 г почвы		
Луг	6,5	2,7	30	92
Пашня: контроль абс.	5,2	5,0	27	85
Орг.фон – 40 т/га навоза	5,4	4,5	29	86
Орг.фон + N60P60K60	5,0	6,4	26	80
Орг.фон + дефекат 28т/га	6,5	2,7	32	92

Изменения в составе и состоянии почвенно-поглощающего комплекса привели к изменениям и биотической составляющей почвенных ресурсов, в частности, микробоценоза и ферментативной активности.

Основу микробоценоза любой экосистемы составляют бактерии, численность которых достигает 70%, актиномицеты – около 30% и грибы. Антропогенное воздействие вызывает перестройку микробоценоза, которая выражается в перераспределении различных групп микроорганизмов (табл. 2).

2. Активность микроорганизмов (на 1 г почвы)

Виды экосистем и варианты опыта	Бактерии, млн шт	Грибы, тыс.шт	Актиномицеты, тыс. шт
Луг	165	11	8
Пашня: контроль	43	14	4
Орг. фон	62	12	6
Орг. фон + N60P60K60	56	17	6
Орг. фон + дефекат	145	10	7

Наиболее характерным показателем биологической активности почвы является активность широко распространенных в природе ферментов, обеспечивающих процессы превращения углеводов, азот- и фосфорсодержащих органических соединений. Изучение активности этих ферментов показало (табл. 3), что наименьшей для фосфатазы она была в луговом сообществе, что указывает на сбалансированность круговорота фосфора и стабильную обеспеченность им растений на протяжении всего периода вегетации. Активность каталазы, напротив, здесь была наибольшей, что указывает на высокую интенсивность окислительных процессов и жизнедеятельность почвенных организмов.

3. Ферментативная активность чернозема выщелоченного в различных экосистемах (среднее за три года исследований)

Виды экосистем и варианты опыта	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅	Каталаза, см ³ O ₂
	на 1 г почвы	
Луг	0,42	8,2
Пашня: контроль	0,65	4,5
Орг.фон	0,52	5,2
Орг.фон + N60P60K60	0,59	4,0
Орг.фон + дефекат	0,49	7,4

Определение активности уреазы проводится по скорости подщелачивания среды за счет разложения мочевины до аммиака. Выявлено, что активность этого фермента связана со степенью окультуренности почвы (табл 4). По активности уреазы изученные варианты образуют следующий ряд активности: луг < контроль < орг. фон < орг.фон+NPK < орг.фон+дефекат.

4. Активность уреазы чернозема выщелоченного разной степени окультуренности (исходная pH 5,5, содержание мочевины 0,25/50 г почвы, регистрация изменений pH через 45 мин.)

Увеличение щелочности до pH	Скорость увеличения щелочности, часы				
	луг	конт- роль	орг. фон	орг.фон + NPK	орг.фон + дефекат
6,0	-	5	3	2,5	2
6,5	10	8	5,5	4	2,8
7,0	15	12	10	7,5	5,5
7,5	22	18	15	9,5	6
8,0	30	25	20	15	7,5

Таким образом, мониторинг природно-ресурсного потенциала чернозема выщелоченного природных и аграрных экосистем показал значительную перестройку всех его составляющих в результате сельскохозяйственной деятельности. Это отразилось на физико-химических свойствах и на биологической активности. Наши исследования показали, что на биоресурсный потенциал агроэкосистем влияет снижение видового разнообразия растительного сообщества, что изменяет и другие составляющие экосистемы. Это неизбежно, так как сельскохозяйственное производство связано с переходом от поливидового состава растительного компонента к моновидовому сельскохозяйственных культур. Поэтому роль в сохранении и воспроизводстве плодородия переходит к агроприёмам, которые

используются в тех или иных условиях. В этом случае показателем состояния биоресурсов может стать ферментативная активность почвы, в частности, активность каталазы. В черноземах с недонасыщенным кальцием почвенно-поглощающим комплексом необходима химическая мелиорация. В качестве мелиорантов можно использовать отходы производства, в частности, дефека́т.

Список литературы

1. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы [Текст] / Д.Г. Звягинцев. – М., 1987. – 325с.
2. Агроэкология [Текст] / Под ред В.А. Черникова, А.И. Чекереса . – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Почвенные микроорганизмы как компоненты биоценоза [Текст] / Под ред. Е.Н. Мишустина. – М.,1984. – 450с.
4. Орлов Д.С. Химия почв [Текст] / Д.С. Орлов. – М.,1985. – 376с.
5. Егоров В.В. Задачи почвоведения в X пятилетке [Текст] / В.В. Егоров // Почвоведение. – 1976. – №1. – С.5-12.
6. Кольцова О.М. Экологическая оптимизация использования черноземов Воронежской области [Текст] / О.М. Кольцова, К.Е. Стекольников // Экология ЦЧО РФ. – 1998 . – № 1. – С.6-9.

Влияние длительного применения удобрений на состояние цинка в почве

Борисов В.Ф.

МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения

Цинк играет важную роль в большинстве физиологических и биохимических процессов растений. Основным объектом, служащим источником цинка для растений, является почва. В данной работе представлены результаты изучения влияния длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на состояние цинка в системе почва-растение.

Объектами исследований являлись дерново-подзолистая тяжело-суглинистая почва с длительного опыта Долгопрудной агрохимической опытной станции и растения подсолнечника. Опыт проводится с возрастающими дозами удобрений.

В образцах почвы определяли: актуальную кислотность – потенциметрически по методу Соколова, гидролитическую кислотность по – методу Каппена, подвижный фосфор и калий – по методу Кирсанова. Валовое содержание Zn в почве определяли эмиссионным спектральным методом. В вытяжках из почв Zn определяли атомно-абсорбционным методом на приборе ААС 30. Определение потенциальной буферной способности в отношении Zn основывалось на методике разработанной Г.В. Мотузовой.

Буферная способность (ПБС) почв по отношению к какому-либо элементу является интегральной оценкой его подвижности, так как определяется, с одной стороны, запасом подвижных соединений элемента, с другой – концентрацией этого элемента в почвенном растворе. Были получены параметры ПБС для почвы контрольного варианта и почвы тройной дозы NPK, как наиболее контрастных. ПБС почвы с вариантом внесения 3 NPK, равная 15, более чем в 4 раза меньше ПБС почвы контроля, равной 66. В варианте длительного внесения удобрений, поступление даже небольших количеств Zn приведет к увеличению содержания доступных растениям форм элемента, по сравнению с вариантом контроля. Результаты определения ПБС свидетельствуют о том, что увеличение подвижных соединений цинка в почве варианта внесения 3 NPK может быть связано не только с процессами внутрипочвенного выветривания, но и с возможностью участия в этом процессе атмосферных поступлений элемента.

В целом, исходя из результатов, можно сделать ряд выводов. При длительном применении возрастающих доз минеральных удобрений увеличивались показатели кислотности, содержания подвижного Р и К. Длительное систематическое применение минеральных удобрений приводило к снижению валового содержания Zn в почве. Максимальное увеличение содержания подвижных форм элемента наблюдается при максимальной дозе внесения удобрений. Содержание и вынос Zn растениями увеличивались с возрастанием применяемых доз удобрений.

**НОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
(ТОЧНОЕ, ОРГАНИЧЕСКОЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ, «УМНОЕ»)
И РОЛЬ В НИХ АГРОХИМИИ**

Характеристика земельного фонда ставропольского края и внедрение элементов умного сельского хозяйства

Есаулко А.Н., Лошаков А.В., Сигида М.С.

*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный
университет, кафедра агрохимии и физиологии растений,
кафедра землеустройства и кадастра*

*Статья посвящена актуальному вопросу внедрения системы
умного сельского хозяйства и отдельных ее элементов в условиях
Ставропольского края и общей характеристики условий в
которых ведутся указанные работы.*

Ключевые слова: *земельный фонд, умное сельское хозяйство.*

Ставропольский край относится к одним из наиболее крупных регионов страны занимающихся сельским хозяйством, производящим более 3% валовой продукции сельского хозяйства страны. Он занимает центральную часть Предкавказья, и его площадь составляет 6 616 тыс. га.

Территория региона делится на четыре климатические зоны (крайне засушливая, засушливая, неустойчивого увлажнения, достаточного увлажнения). Ставропольский край является зоной рискованного земледелия, и влагообеспеченность является главным фактором, лимитирующим развитие сельскохозяйственного производства.

Важнейшим показателем, отражающим климатическую ситуацию и используемым специалистами сельского хозяйства, является гидро-термический коэффициент. Данный коэффициент показывает соотношение количества выпавших осадков и испаряемости. ГТК в пределах Ставропольского края колеблется от 0,5 в крайне засушливой агроклиматической зоне до 1,3 в зоне достаточного увлажнения (предгорная зона).

Территорию Ставропольского края по типам почв условно делят на две почвенные зоны – черноземную и каштановую. В действительности это далеко не так. Черноземные почвы занимают примерно 38% территории края и территориально относятся к его западной части, а каштановые почвы относятся к восточной части Ставрополя и занимают около 43%. На территории региона встречаются и другие почвы, такие как, солонцы, солончаки, луговые, аллювиальные, пески и другие.

1. Характеристика Ставропольского края

Показатель	Зона			
	Крайне засушливая (I)	Засушливая (II)	Неустойчивого увлажнения (III)	Достаточного увлажнения (IV)
Земельная площадь, тыс. га	1545,2	2163,5	2668,3	238,9
в т.ч. с.-х. угодий, тыс. га	1373,0	1953,9	2290,6	169,8
из них пашни, тыс. га	661,5	1506,8	1725,5	106,9
Бонитет с.-х. угодий, балл	19-29	39-50	42-74	68
Среднегодовое количество осадков, мм	387-458	433-482	559-636	665
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,63-0,72	0,64-0,81	1,0-1,09	1,79
Коэффициент увлажнения (КУ)	0,18	0,19-0,21	0,27-0,31	0,47
Высота над уровнем моря, м	10-100	100-200	200-650	300-900
Среднегодовая температура воздуха, °С	10,8-11,1	10,7-11,2	9,7-11,0	8,0
Сумма температур выше 10 С, °С	3720-3750	3650-3800	3300-3650	2570

Наибольшие площади региона заняты чернозёмами обыкновенными карбонатными и тёмно-каштановыми карбонатными почвами – 19,8% и 17,6% соответственно. Также значительные территории представлены каштановыми солонцеватыми (11,6%), чернозёмами южными (10,4%) и солонцами (7,5%). Все почвы пригодны для возделывания сельскохозяйственных культур, кроме песков носящих барханный характер, которые расположены в Курском, Нефтекумском и Степновском районах Ставрополя.

Земельный фонд Ставропольского края имеет высокую степень освоенности, так как более 92% земель используются в сельскохозяйственном производстве. Площади распаханых земель по отдельным районам составляют более 80% их земельного фонда. Длительное интенсивное использование земель привело к ухудшению экологической обстановки в регионе и развитию деградационных процессов.

Внедрение системы умного сельского хозяйства подразумевает наличие большого количества современной сельскохозяйственной техники и агрегатов, оснащенных инновационными приборами,

позволяющими фиксировать дифференциацию различных показателей. Полный комплекс системы стоит очень дорого, поэтому на Ставрополье отмечается внедрение отдельных элементов системы умного сельского хозяйства, таких как:

- агрофизический и агрохимический мониторинг почв;
- контроль метеорологических условий и параметров окружающей среды;
- позиционирование и навигация сельскохозяйственных машин;
- технический контроль состояния сельскохозяйственных машин;
- управление подкормкой и защитой сельскохозяйственных культур.

Также важным моментом является окупаемость системы, а в условиях Ставропольского края, она является минимальной, так как отсутствует дифференциация почвенного плодородия, которая должна составлять не менее 20%.

Исследования ученых Ставропольского государственного аграрного университета, в данном вопросе, направлены на совместную деятельность с Институтом космических исследований и работу сервиса BEGA-Science. При помощи сервиса BEGA-Science есть возможность создания следующего вида графиков состояния выбранных культур, в которых может быть отражен ряд факторов в течении выбранного периода исследования, таких как индекс NDVI, температура, влажность почвы, давление и др.

Данный ресурс также позволяет получать данные индекса NDVI, а также определять разницу между текущими показателями NDVI, показателями за предшествующие годы, со среднесезонными показателями и др.

Работа с картографическим материалом в BEGA-Science выражается в следующих составляющих:

- рабочая зона, отражающая весь необходимый картографический материал;
- панель инструментов, позволяет осуществлять необходимые манипуляции с картограммой;
- зона настройки параметров, находящаяся в левой части экрана и дающая возможность настраивать и получать необходимые данные, которые будут отражены на основной рабочей зоне в виде определенной тематической карты.

Кроме этого, нами применяются Беспилотные летательные аппараты, которые в сельском хозяйстве смогут решать следующие задачи:

- создания электронных карт полей (построение 3D модели полей);
- инвентаризация сельхозугодий;

- оценка объема работ и контроль их выполнения, с целью оптимального построения систем ирригации и мелиорации;
- оперативный мониторинг состояния посевов (БПЛА позволяет быстро и эффективно строить карты по всходам);
- отслеживать Normalized Difference Vegetation Index - нормализованный вегетационный индекс, с целью эффективного внесения удобрений;
- оценить всхожесть сельскохозяйственных культур;
- прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур;

Список литературы

1. Жученко А.А., Трухачев В.И. Системы земледелия Ставрополья / монография. – Ставрополь: АГРУС, 2011. – 844 с.
2. Ключин П.В., Цыганков А.С. Основы землеустройства (Северный Кавказ, Ставропольский край) / учебник. – Ставрополь, 2002. – 424 с.
3. Ключин П.В., Савинова С.В., Лошаков А.В., Кипа Л.В. Рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения на территории Ставропольского края / Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – Москва, 2017. – С. 61 – 69.
4. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края / монография. – Ставрополь: АГРУС, 2013. – 520 с.

Действие и последствие минеральных удобрений и диатомита на рост и развитие газонных трав при загрязнении почв тяжёлыми металлами

Крючков А.И., Егоров В.С., Госсе Д.Д.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

С статье представлены результаты исследований авторов, полученные в многофакторном полевом мелкоделяночном опыте, заложенном с целью оценить действие и последствие минеральных удобрений и диатомита на газонные травы при загрязнении их тяжёлыми металлами (Cd, Pb).

Загрязнение тяжёлыми металлами – одна из наиболее распространённых нагрузок, испытываемых городскими газонами, которая приводит к снижению их экологического качества и выполняемых ими функций. Применение кремнийсодержащих удобрений и мелиорантов – перспективный способ повышения устойчивости газонных экосистем в условиях загрязнения. Цель проводимого нами исследования: дать оценку действия и последствия минеральных удобрений и диатомита на газонные травы при загрязнении их ТМ (Cd, Pb).

Многофакторный полевой мелкоделяночный опыт был заложен на территории почвенного стационара МГУ имени М.В. Ломоносова. Повторность опыта – трехкратная, площадь делянки (S) – 2 м², размещение вариантов – рендомизированное. Для проведения опыта была подготовлена площадка в соответствии с правилами создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы. Объектом опыта была газонная смесь злаковых трав «Изумрудная поляна люкс», состоящая из пяти различных видов злаковых, типичных для газонов Москвы и области. Для удобрения грунта были использованы диаммофоска (N:P:K = 10 : 25 : 25) и аммиачная селитра (34% N), конечное соотношение N:P:K при внесении минеральных удобрений было 60 : 60 : 60 кг д. в. на 1 га. Удобрения внесли в 2015 г., в 2016 и 2017 гг. изучали их последствие. Почва опытного участка конструкторозём.

Верхний слой опытного грунта имел нейтральную реакцию среды, нижележащий – слабощелочную. Следует отметить, что показатель pH всех вариантов опыта увеличился по сравнению с 2016 годом в среднем

на 8%, а гидролитическая кислотность в большинстве вариантов в среднем на 11%. Отмечено увеличение данного показателя в загрязнённых вариантах на фоне минеральных удобрений.

Практически на всех вариантах опыта без применения удобрений имело место снижение содержания доступного растениям фосфора на 10-15%. Тем не менее, в грунте вариантов с применением минеральных удобрений это снижение минимально (3 - 8%). Последствие диатомита выражено практически на всех соответствующих вариантах опыта, содержание фосфора на вариантах с применением диатомита падает к концу вегетационного периода меньше, чем без него, на 4% не зависимо от факта внесения минеральных удобрений на делянке.

Содержание водорастворимого калия в грунте увеличилось к концу вегетационного периода на всех вариантах опыта на 10-20%, за исключением неудобрённых загрязнённых вариантов с добавлением диатомита. В этих вариантах произошло существенное снижение содержания доступного калия (на 11%) в варианте, загрязнённом свинцом и на 34% - в варианте с загрязнением кадмием. Так же можно отметить, что в условиях загрязнения ТМ, диатомит оказывал благоприятное влияние на калийное питание растений

Последствие применения минеральных удобрений способствовало достоверному увеличению биомассы трав на 40-60% по сравнению с неудобрёнными вариантами, независимо от загрязнения. Применение диатомита на неудобрённых вариантах увеличивало биомассу несущественно, а применение диатомита совместно с минеральными удобрениями приводило к увеличению биомассы загрязнённых вариантов на 10-15%.

Степень влияния минеральных удобрений на биомассу газонных трав зависела от погодных условий. Загрязнение почвы не привело к существенному изменению содержания азота в биомассе трав на вариантах без удобрения. Применение минеральных удобрений способствовало существенному (на 30-40%) увеличению выноса азота по сравнению с соответствующими вариантами с загрязнением за счет развития большей биомассы. Внесение удобрений не оказало существенного влияния на содержание фосфора в биомассе трав. В конце вегетации содержание фосфора повысилось как на удобрённых вариантах, так и на неудобрённых, по сравнению с первым укосом. Это произошло вследствие того, что травы формировали меньшую биомассу, о чем свидетельствуют данные по выносу. В конце вегетации снизился уровень поступления калия в растения, о чём свидетель-

ствуют данные по выносу.

Анализ внутрисезонного изменения содержания углеводов показывает, что в условиях недостаточного обеспечения влагой (июнь и август), синтез сахаров в растениях увеличивается. Это объясняется тем, что сахара препятствуют накоплению солей и повышают осмотическое давление в клетках, данные механизмы описаны в многочисленных источниках. В июне, содержание сахаров варьируется между вариантами опыта незначительно, за исключением вариантов с загрязнением тяжелыми металлами без применения удобрений.

Это объясняется начальным этапом развития травостоя в условиях умеренной увлажненности. В июле, в условиях достаточного обеспечения влагой, содержание сахара меньше на 5-7%, но при этом отчетливо видно положительное влияние минеральных удобрений и диатомита на синтез этих углеводов.

В целом, ТМ привели к снижению суммы сахаров в наших растениях всего на 1 - 2%, последствие минеральных удобрений сглаживает эту тенденцию.

Необходимо отметить способность диатомита поддерживать и даже увеличивать содержание дисахаридов относительно контроля практически на всех соответствующих вариантах опыта в среднем на 4%.

На вариантах с загрязнением отмечено достоверно более высокое содержание Pb и Cd в биомассе трав по сравнению соответствующими вариантами без загрязнителей. Применение удобрений сопровождалось увеличением концентрации ТМ в биомассе трав на 15 - 25% практически во всех вариантах опыта. Так же выявлено, что диатомит, в комплексе с минеральными удобрениями, способен кроме повышения стрессоустойчивости растений, способствует повышению выноса кадмия с урожаем трав, что является положительным эффектом с точки зрения фитомелиорации.

Вынос свинца биомассой газонных трав третьего и четвертого укоса достоверно выше. Возможно, это связано с тем, что в этот период выпадало большое количество осадков, и как следствие увеличилась подвижность этого элемента в анаэробных условиях. Так же при минерализации органического вещества произошло освобождение ранее недоступных форм.

Зависимость плодородия почвы и урожайности овса от объема внесения подстилочного навоза и минеральных удобрений

Васильева М.С.

*Всероссийский исследовательский институт агрохимии,
Россия, г. Москва*

В настоящее время важной задачей является увеличение продуктивности полей, повышения качества получаемой продукции с целью осуществления продовольственной безопасности страны, а также сохранение и повышения плодородия почв. Сохранение и улучшение состояния плодородия почв, является одной из основополагающих задач современного отечественного земледелия. Окультуренность почвы, и, связанная с ней научно обоснованная система удобрений, под которой понимается рациональное применение как минеральных, так и органических удобрений, являются одним из составляющих факторов плодородия земель.

Ключевые слова. Органические удобрения, состояния плодородия почв и повышение качества продукции.

В данной работе рассматривается урожайность овса сорта Скакун в зависимости от доз и сочетаний органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Опытные данные получены с ключевых вариантов длительного, заложенного в 1978 году опыта в смоленской области в поселке Ольша. Также как и данные об урожайности, рассматриваются изменения агрохимических показателей почвы на базе 11 ключевых вариантов длительного полевого опыта (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, были выбраны варианты по принципу основных факторов, изучаемых в опыте – изучение минеральной системы удобрения, в рекомендованных для данной зоны дозах, органическая система удобрения, органо-минеральная система удобрения, минеральные удобрения в рекомендуемых для данной зоны дозах взятые в отдельности: контроль (0000), минеральная система удобрений (3330), органическая система удобрений (0003). Вносимые в отдельности: азотные (3000), фосфорные (0300), калийные (0030) удобрения, а также органо-минеральная система, представленная в возрастающих дозах (1111), (2222), (3333), (4444), (5555).

1. Ключевые варианты опыта, рассматриваемые в данной работе (дозы минеральных удобрений указаны в кг д.в./га, навоз в т/га)

1	Контроль(N0P0K0 - Навоз – 0)	0000
2	N90P0K0- Навоз - 0	3000
3	N0P90K0- Навоз - 0	0300
4	N0P0K90 Навоз - 0	0030
5	N90P90K90 Навоз – 0	3330
6	N0P0K0 – Навоз 9	0003
7	N90P90K90 – Навоз - 9	3333
8	N30P30K30 – Навоз - 3	1111
9	N60P60K60 – Навоз – 6	2222
10	N120P120K120 – Навоз – 12	4444
11	N150P150K150 – Навоз - 15	5555

Таким образом, указанные варианты использованы как ключевые в нашей работе, так как они позволяют проследить изменение урожайности овса на разных изучаемых вариантах:

1. Контроль;
2. на минеральной системе;
3. на органо-минеральной системе;
4. и при внесении средних доз удобрений, рекомендуемых в этой зоне (азотных, фосфорных и калийных по отдельности) под овес.

Нашей задачей являлось выявление закономерностей между факторами опыта, то есть системами и дозами вносимых удобрений, агрохимическими показателями почвы и урожайностью культуры овса.

В изучаемой 5-й ротации культуры возделываются по последдействию вносимых удобрений, то есть дается только поддерживающая (стартовая) доза азотных удобрений на все варианты в дозе 30 кг д.в/га.

В таблице 2 представлено содержание азота, фосфора и калия в удобрении.

Изменения агрохимических показателей почвы по ключевым вариантам (в сравнении с исходными данными, полученными при закладке опыта) представлены в таблице 3.

2. Содержание азота различных форм, фосфора и калия в используемом органическом удобрении

Нобщ	Наммонийн.	P ₂ O ₅	K ₂ O
%			
0,46	0,08	0,21	0,66

3. Агрохимические показатели почвы опытного участка

Номер варианта	Собщ %	рНКС1	P ₂ O ₅	Обеспеченность почвы подвижными формами элемента	K ₂ O	Обеспеченность почвы подвижными формами элемента
0000	1,0	5,3	34	низкая	72	средняя
3000	1,1	5,3	68	низкая	55	низкая
0300	1,0	5,2	140	средняя	73	средняя
0030	1,2	5,5	80	низкая	126	повышенная
0003	1,1	5,5	85	средняя	65	низкая
3330	1,0	5,2	173	повышенная	130	повышенная
1111	1,1	5,8	130	средняя	82	средняя
2222	1,1	5,9	230	высокая	116	повышенная
3333	1,2	5,2	140	средняя	98	средняя
4444	1,2	5,7	225	высокая	142	повышенная
5555	1,3	5,6	410	очень высокая	252	очень высокая

В целом, по органо-минеральной системе, в 4 остальных вариантах наблюдается закономерное, согласно росту дозы внесенного ранее удобрения достоверное увеличение урожайности:

В варианте 1111 - N30P30K30 – Навоз – 3т/га – прибавка к урожайности составила 1,6 ц/га

В варианте 3333 - N90P90K90 – Навоз – 9т/га – прибавка к урожайности составила 2,3 ц/га

В варианте 4444 N120P120K120 – Навоз – 12т/га – прибавка к урожайности составила 7,5 ц/га

В варианте 5555 N150P150K150 – Навоз – 15т/га – прибавка составила 8,1 ц

Наиболее существенные прибавки к урожайности были получены в вариантах с наибольшими дозами удобрений в органо-минеральной системе и составили 49,67% и 53,64% соответственно для вариантов 4444 и 5555. Это 7,5 ц зерна и 8,1 ц зерна соответственно. Также достоверные, но менее значительные прибавки к урожайности отмечены в вариантах с внесением азотного удобрения 3000, калийного удобрения 0030 и варианте с минеральной системой удобрения 3330 и составили соответственно: 13,25%, 16,56% и 17,22%.

Наличие выключки в одном из вариантов мешает установить оптимальную с экономической точки зрения дозу удобрений как органо-минеральной системы в отдельности, так и всех изученных в представленной работе вариантов систем удобрения и отдельного внесения минеральных удобрений.

При рассмотрении содержания подвижного калия и фосфора в вариантах опыта наблюдается та же тенденция, что и с урожайностью. Повышение содержания этих элементов наблюдается в вариантах, где они вносились в отдельности, несколько больше в полной минеральной системе и максимальные значения наблюдались в вариантах с четырехкратной 4444 и пятикратной 5555т дозой удобрений органо-минеральной системы.

Полученные данные говорят о том, что при ведении хозяйства для получения высокой прибавки к урожайности овса и улучшения агрохимических показателей почв в длительном опыте наиболее эффективна органо-минеральная система удобрений в высоких дозах.

Список литературы:

1. Державин Л.М., Мерзлая Г.Е., Козлова А.В., интегрированное применение средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях производства зерна / Державин Л.М., Мёрзлая Г.Е., Козлова А.В. – М.: ВНИИА, - 456 с.
2. Козлова А.В. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях при возделывании овса в полевом севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Козлова А.В. – Дисс. канд. биол. наук. М.: - ВГБНУ ВНИИА имени Прянишникова Д.Н..
3. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П. Длительное применение органических и минеральных удобрений при оптимизации их доз и сочетаний на легкосуглинистой почве // Агрохимия. 2006. № 10. С. 33–40.

Пути обеспечения почвы фосфором и калием при ведении органической системы земледелия

Солодухин А.В., Виноградова С.Б., к.б.н., Муравьева О.А.

*Станция агрохимической службы «Камышинская»,
г. Камышин;*

*Всероссийский научно-исследовательский институт
агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, г. Москва*

Последние 10-15 лет наблюдается ускоренное развитие органического сельского хозяйства во многих странах мира. Эксперты ФАО прогнозируют к 2020 году темпы прироста производства органического продовольствия на 30%. Считается, что развитие системы органического сельского хозяйства в России позволит сделать аграрный сектор более эффективным и привлекательным для зарубежных инвесторов [1]. Не правильно считать, что органическое сельское хозяйство – это отдельный феномен, не имеющий прошлого. В трудах А.Т. Болотова еще в 1771 году идея экологического земледелия была обозначена в работе «О разделении полей». Были сформированы основные принципы агроэкологии и дано руководство по организации сельскохозяйственной территории путем введения севооборотов.

В тридцатые годы прошлого столетия академиком В.Р. Вильямсом была предложена травопольная система земледелия, которая во многом согласуется с принципами органического сельского хозяйства [2]. Основы ресурсосберегающего земледелия заложены известными учеными: Докучаевым В.В., Фокиным В.В., Фолкнером Э. и другими.

Универсально принятого определения органического земледелия не имеется.

Спектр понятий «органическое сельское хозяйство» варьирует от так называемого чистого органического сельского хозяйства до более либеральных интерпретаций данной системы ведения хозяйства. Либеральная интерпретация в какой-то степени может сливаться с традиционным сельским хозяйством. Эти две системы могут иметь большое число общих методов ведения хозяйства. Анализируя многочисленные определения «органическое земледелие» возможно изложить его в следующей интерпретации:

органическое земледелие – это такая производственная система, которая избегает или в значительной степени исключает использование искусственных минеральных удобрений, пестицидов, регуляторов роста и химических кормовых добавок в животноводстве.

Для устойчивого ведения органического производства требуется высокое плодородие почв.

Интенсивное использование минеральных удобрений в США и Странах Европы дало возможность увеличить содержание фосфора и калия во многих почвах, включая и те почвы, которые в настоящее время обрабатываются органическими методами [3]. На таких почвах растениеводческое производство может осуществляться в течении ряда лет при обеспечении от умеренных до высоких уровней урожайности без дальнейшего внесения удобрений.

В некоторых случаях на полях фермерских хозяйств, занимающихся органическим земледелием, никогда не вносили минеральных удобрений, и на них поддерживалась урожайность от умеренного уровня до высокого. В этих случаях, вероятно, что почвы имели высокий буферный запас фосфора и калия, который мог обеспечить достаточное количество фосфора и калия для получения урожаев в течении продолжительных периодов. Западные фирмы предлагают различные методы для обеспечения почвы фосфором и калием. Эти методы сильно варьируют, но могут быть выделены два различных подхода. Первый подход состоит в том, что высвобождение фосфора и калия из первичных и вторичных минералов почвы, реакция уравнивания между поверхностями частиц почвы и растворенными питательными веществами, минерализация органического вещества компенсирует дефицит питательных элементов. Этот «дефицитный» подход включает минимальные попытки обеспечить дополнительное количество фосфора и калия для растений. Его результатом в долгосрочной перспективе будет потеря фосфора и калия из почвы, так называемая «выработка». Второй подход предлагается как крупномасштабный «импорт» питательных веществ из системы. Этот «импорт» может быть представлен в виде навоза, крупномасштабного использования органических и неорганических питательных веществ.

Характер пополнения питательных веществ в почвенном растворе, особенно роль факторов поглощения, дает возможность выявить различия между двумя подходами по ведению органического земледелия и подходами интенсивного традиционного ведения сельского хозяйства, когда используются высокие дозы фосфорных и калийных удобрений.

По мере того, как питательные вещества удаляются из почвенного раствора имеется тенденция возмещать этот дефицит из источников твердой фазы. Следует отметить, что для фосфора не существует естественных путей возобновления почвенных запасов, в отличие от азота, количество которого в почве может пополняться за счет

биологической фиксации из атмосферы. Верхние слои почвы несколько обогащаются фосфором за счет более глубоких слоев, из которых корневая система некоторых растений извлекает фосфор, перенося его вверх и обогащая верхние слои почвы. Но процесс биологической аккумуляции медленный, и темпы его не совместимы с темпами отчуждения фосфора из почвы с урожаем культурных растений.

Ведение органического земледелия допускает использование природных фосфоритов. Эффективность действия фосфорита в любой конкретной почве определяется, главным образом, тремя почвенными факторами: рН почвенной среды и концентрацией фосфора в почвенном растворе. Если уровень любого из этих факторов не способствует растворению фосфорита в почве, то фосфорит будет относительно неэффективным. Таким образом, на многих почвах будет маловероятным, чтобы малорастворимые источники фосфора могли создать и сохранить концентрацию в почвенном растворе на достаточно высоком уровне. Маловероятно и то, что занимающиеся органическим земледелием фермеры будут предпринимать попытки ведения земледелия органическими методами на почвах дефицитных по фосфору и обеспечивающих низкий объем поступления этого элемента.

Аналогичным образом, источники низкорастворимого калия, такие как глауконитовый песок могут быть не способны обеспечивать достаточный уровень калия в почве, удовлетворяющий потребность сельскохозяйственных растений. Как и в случае с фосфором производители органической продукции будут вносить в почву ряд различных органических отходов и остатков, которые обеспечивают дополнительное поступление калия. Таким образом, определение скорости освобождения фосфора и калия из источников ограниченной растворимости в системах органического земледелия требует дальнейших исследований.

Сторонники органического земледелия активно используют навоз, что могло бы несколько облегчить ситуацию с фосфором и калием. Нужно подчеркнуть важное обстоятельство, которое обычно упускается из виду. Поголовье скота упало за годы реформы почти в 3 раза. Сейчас мы имеем крупного рогатого скота существенно меньше, чем в 1916 году и даже чем в 1923 г. Резкое падение замедлилось лишь в 2005 г.

Ссылки на то, что в 80-е годы в США тоже произошло сокращение поголовья крупного рогатого скота, не состоятельны, т.к. природа этого процесса в РФ и США различна. В США в ходе модернизации животноводства был сделан упор на интенсивность производства и резко повышена продуктивность скота. В РФ в ходе реформы

сокращение поголовья происходило параллельно с технологическим регрессом и снижением продуктивности.

По статистическим данным поголовье коров в 2015 г. в России составило 8,4 млн., в 2016 – 8,3 млн., в 2017 – 8,2 [4].

В России единицы молочных ферм сертифицированных по Европейским стандартам, но ни одна из этих ферм не продаст свой органический навоз, чтобы кому-то производить органические овощи и зерновые. Подготовка навоза к использованию в органическом земледелии потребует дополнительных затрат. При использовании инновационных технологий по утилизации и обезвреживанию навоза, созданию контроля над органическими удобрениями есть возможность решить проблему обеспечения ферм органическими удобрениями. Тогда все будет упираться в стоимость этих удобрений. В современном фермерском хозяйстве, придерживающемся органического земледелия, философское обоснование системы, данное Рудольфом Штайнером и его антропософией, давно не обсуждается. Большое внимание привлекают размеры субсидий органическому земледелию и рентабельность «органической» системы.

Органическое земледелие не способствует поддержанию и развитию плодородия наших почв. Многие из них имеют региональные дефициты элементов минерального питания и особенно важных микроэлементов.

Одним из условий сохранения плодородия почвы является регулярное применение минеральных и органических удобрений, которые компенсируют вынос питательных веществ с урожаем и поддерживают благоприятную структуру почвы. В 1909-1913 гг. в России естественное плодородие обеспечивало урожайность в среднем за год 6,9 ц/га. Начиная с 70-х годов прошлого столетия, когда была создана промышленность удобрений, сельское хозяйство РСФСР стало быстро улучшать экстенсивные и интенсивные показатели. В последние советские годы вынос с урожаем достигал 124 кг с гектара, а вносили с удобрениями (в 1987 г.) только 106 кг на гектар. При получении тонны зерна с учетом побочной продукции выноса азота составляет 30-35 кг, фосфора 10-12 кг, калия 25-30 кг. При той примитивной технологии, что предлагается в органическом земледелии полное возмещение выноса невозможно, что приводит к снижению урожайности и неуклонному падению почвенного плодородия.

Дискуссии по всем этим вопросам могут быть полезны и интересны. Сторонникам органического земледелия пора переходить к научным разработкам данной системы хозяйствования, поскольку наука ничего на веру не берёт.

Литература

1. Горчаков Я. Опыт ЕС и США в развитии органического земледелия [Электронный ресурс] / International Centre for Trade and Sustainable Development. – Точка доступа: <https://www.ictsd.org/bridgesnews/>
2. Вильямс В.Р. Травопольная система земледелия. Изд. АН СССР. 1950. 210 с.
3. Сайт Европейской комиссии. [Электронный ресурс] Режим доступа: www.ec.europa.eu/agriculture/organic/index_en
4. Еськов А.И., Лукин С.М., Мерзлая Г.Е. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве России // Плодородие. 2018, №1, с. 20-23.

Локализация калийных удобрений в почве как регулятор динамики минерального питания растений

Павлов К.В.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Предложена динамическая концепция оптимизации калийного питания растений, основанная на регуляции пространственного расположения калийных удобрений в почве. Она обосновывается возможностью быстрого пассивного транспорта калия из очага локализации удобрений в растения через скоростные каналы, являющиеся физиологическими механизмами приспособления к гетерогенным условиям почвенной среды обитания. Потребность в этих механизмах может возникать во вторую половину вегетации растений при формировании их генеративных органов.

Локальный способ (или placement method) представляет собой один из элементов современной технологии точного земледелия. Этот способ основан на точном пространственном размещении удобрений в почве, оптимизируя которое можно повысить их эффективность. Лимитирующим фактором продвижения этой технологии в практику является слабая разработанность агрохимической теории.

В настоящее время сформулирована новая концепция регулирования пространственного размещения калийных удобрений в почве с целью оптимизации динамики минерального питания растений. Исследования были начаты в полевом опыте кафедры агрохимии факультета почвоведения МГУ, заложенном в 1990 году под руководством В.Г. Минеева. Опыт проводился на бедной дерново-подзолистой почве УОПЭЦ «Чашниково» по динамической схеме, позволяющей отделить непосредственное, прямое действие удобрений от их последствия. Было показано, что действие и последствие калийных удобрений имеют разное физиологическое влияние, не объяснимое с позиции их влияния на общее содержание калия в растениях. То есть ежегодное действие калийных удобрений имело какую-то свою специфику по сравнению с последствием, которую нельзя было объяснить с точки зрения традиционной балансовой концепции, учитывающей только общее содержание калия в почве и в растениях.

Дальнейшие исследования проводились уже в лабораторных, модельных и вегетационных опытах. Специфика прямого действия удобрений заключалась не только в динамике (сроках внесения удобрений), на которую обычно обращают внимание, но и в

особенности пространственной локализации удобрений в почве (способе внесения). Локальность размещения удобрений и динамика калия в почве оказались тесно взаимосвязаны. Необходимо оценивать и регулировать пространственную неравномерность размещения удобрений в почве. Очаг повышенной концентрации доступного калия после внесения удобрения даже в слабофиксирующей дерново-подзолистой среднесуглинистой почве локализован в ограниченном пространстве порядка 1-2см и сохраняется в течение времени сопоставимым с вегетационным периодом растений. Поэтому различие действия от последствия калийных удобрений связано не только с более высокой подвижностью в этом случае калия в почве, т.е. его незафиксированностью, но и его ограниченной и достаточно длительной локализацией в верхней части пахотного слоя почвы.

Наличие очага с высокой концентрацией доступного калия в почве очень важно, т.к. позволяет подключать растениям более быстрый механизм пассивного поглощения калия – LATS (low-affinity transport system). Более скоростные каналы поступления калия в растение можно рассматривать как физиологические механизмы приспособления растения к гетерогенным условиям почвенной среды обитания. Потребность в этих механизмах может возникать во вторую половину вегетации растения, когда поглотительная способность корней и содержание калия в ризосфере снижаются, а нагрузка на транспортную систему растений, в которой активно задействован калий, возрастает.

В наших экспериментах благоприятное физиологическое действие локального способа внесения удобрений происходило за счет улучшения развития генеративных органов первичных и вторичных побегов ячменя при слабом влиянии на рост побегов 3-4 степени, формирующих в основном непродуктивную часть урожая. Прибавка урожая зерна достигалась за счет увеличения его доли в общей биомассе, что можно связать с улучшением транспорта ассимилятов (а также NPK) в генеративные органы растений во вторую половину вегетации ячменя.

На основе исследований на дерново-подзолистой почве была впервые установлена связь между пространственным расположением калийных удобрений в почве, динамикой калийного питания растений и их продуктивностью. В качестве гипотезы была сформулирована динамическая концепция, позволяющая усовершенствовать традиционную балансовую концепцию, основывающуюся на определении только общего количества калия необходимого с/х культурам.

Новая концепция была представлена в виде следующей схемы: неравномерность (НР) внесения калия (К) удобрений приводит к – НР расположения К в почве, которая вызывает – динамику К в почве, вместе

это формирует – НР поглощения К растениями в течение вегетации или динамику К питания растений, вследствие чего возникает – НР обеспеченности К (а вследствие этого и другими элементами) разных частей растений – НР развития этих частей и в конечном итоге – НР (увеличение или снижение) урожая и его качества.

Можно формализовать еще компактнее, если ввести соответствующее обозначение: НР_{кs-t} – означающее пространственно-временную неравномерность в отношении калия. И учесть, что в почве динамика является следствием, а в растении – причиной пространственной неравномерности в отношении калия. Последовательность соответствующих символов (s-t) и тире отражает причинно-следственные связи.

Схема приобретает следующий вид:

НР_{кs-t} в почве – НР_{кт-s} в растениях – НР урожая.

На основе этой концепции было сделано предположение, позволяющее ее проверить. Предполагалось, что локальный способ внесения калийных удобрений может оказывать благоприятное действие на растение независимо от общего содержания в них калия, то есть даже при оптимальном уровне обеспеченности. Для этого в качестве объекта исследования был выбран целинный чернозем с высоким содержанием в нем обменных и необменных форм калия, но низкой скоростью диффузии калия в почве. Пятилетние вегетационные опыты, проведенные на плодородном черноземе, подтвердили предшествующие данные. Впервые была получена прибавка урожая ячменя от калийных удобрений, несмотря на оптимальное содержание калия в почве и в растениях. Таким образом, было подтверждено, что с помощью локального способа внесения калийных удобрений можно оптимизировать не только общее содержание калия в растениях, но и динамику минерального питания.

**ЛАНДШАФТНАЯ АГРОХИМИЯ, УСТОЙЧИВОЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АГРОЛАНДШАФТОВ,
БИОГЕОХИМИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЯ**

Продуктивность яровой пшеницы и устойчивость агроэкосистемы при внесении удобрений и микробных биопрепаратов

Алферов А.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва

Представлены данные исследований по влиянию биопрепарата ризоагрин на урожайность и качество зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Инокуляция семян биопрепаратом обеспечила прибавку массы зерна на 15,5%.

Использование метода изотопной индикации с применением стабильного изотопа азота ^{15}N позволило установить долю азота, фиксированного ризосферными diaзотрофами, в формировании урожая, коэффициент использования азота из сидерата и влияние инокуляции семян ризоагрином на коэффициент использования растениями азота из биомассы горчицы. При инокуляции семян биопрепаратом увеличивается вынос азота с массой зерна: на 19% на фоне РК и на 17% – в варианте с сидератом. В эксперименте на дерново-подзолистой почве с невысоким содержанием органического вещества оценки функционирования системы агроэкосистемы под яровой пшеницей при внесении биомассы горчицы показала, что система находится в устойчивом состоянии (зона гомеостаза).

Ключевые слова: ризоагрин, урожайность зерна яровой пшеницы, сидерат, вынос азота урожаем, изотоп азота ^{15}N , устойчивость агроэкосистемы.

Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства предусматривает удовлетворение потребностей общества на фоне сохранения нормального состояния биосферы. При этом важным вопросом является сохранение плодородия почвы и предотвращение наиболее опасных видов ее деградации, что возможно благодаря экологически безопасному землепользованию, базирующемуся на необходимости максимально возможного приближения земледелия к естественно-природным аналогам при поддержании высокой продуктивности сельскохозяйственного производства, оптимизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур (1).

Для сохранения естественного и достижения расширенного воспроизводства почвенного плодородия, обеспечивающего стабильный рост урожайности сельскохозяйственных культур предлагается использовать сидераты, позволяющие улучшить структуру почвы,

обогащающие ее элементами питания и в первую очередь углеродом и азотом [2, 3]. Особенностью сидератов, как удобрений, является то, что их химический состав и соотношение питательных веществ близки к аналогичным показателям для основных сельскохозяйственных культур, что определяет ее соответствие потребности растений в основных элементах питания и позволяет, наряду с растительными остатками и минеральными удобрениями сократить дисбаланс между выносом с урожаем и поступлением питательных веществ в почву [4 - 8].

Использование сидератов обеспечивает повышение биологической активности почвы, усиливает процессы трансформации органического вещества и сокращает потери питательных веществ из пахотного слоя [4]. Вместе с тем, остаются открытыми вопросы о размерах использования азота из биомассы сидерата последующими культурами и о характере его закрепления в почве, размерах газообразных потерь и влияние биопрепаратов на основе ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на эти процессы. Важным вопросом остается и влияние сидератов на показатели устойчивости агроэкосистемы.

Цель работы – оценка эффективного применения сидерата и биопрепарата на основе ризосферных микроорганизмов на продуктивность яровой пшеницы, на использование ее биологического азота, азота удобрений и почвы и устойчивость агроэкосистемы.

Методика

Оценку эффективности применения сидерата и биологического препарата ризоагрин проводили в микрополевым опыте в Смоленской области. Агрохимические показатели почвы: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,98%; рНКСl = 5,1-5,2; содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – соответственно 57,6 и 153,1 мг/кг почвы. Опыт проводили в сосудах без дна площадью 0,018 м². Схема опыта представлена в таблице 1. Повторность - 4-х кратная. Варианты в опыте размещали методом рандомизированных повторений. Культура – яровая пшеница сорта Злата.

Препарат ризоагрин изготовлен ВНИИСХМ на основе ризосферных ассоциативных микроорганизмов *Agrobacterium radiobacter*, представляет собой порошковидный торфяной субстрат, обогащенный питательными веществами, с влажностью 45-55%. В 1 г препарата содержится 6-10 млрд. бактериальных клеток. Согласно рекомендации ВНИИСХМ инокуляцию проводили в день посева из расчета 600 г препарата на 6 млн. всхожих семян. В качестве прилипателя использовали 1%-й раствор казеина.

В целях изучения баланса азота, его потребления растениями из сидерата использовали растительную массу из смеси гороха, овса и горчицы, содержащую ^{15}N с обогащением 25,88 ат. %. Сидерат вносили в сосуды осенью в год, предшествующий проведению опыта из расчета 10 г/сосуд. Содержание общего азота в биомассе составляло 2,33%. Соотношение C : N было равно 25:1.

Использовали общепринятые методы анализов почвенных, растительных образцов, изотопный состав азота определяли на масс-спектрометре «Delta V». Потоки азота (минерализованный, нетто-минерализованный и реиммобилизованный азот) рассчитывали по (9).

Метеорологические условия существенно различались по годам исследований. 2014 год характеризовался повышенной температурой воздуха в течение большей части вегетационного периода (исключение – июнь с температурой воздуха на $1,0^\circ\text{C}$ ниже климатической нормы) и крайне неравномерным распределением атмосферных осадков с чередованием периодов засушливой погоды (1-я и 2-я декада мая, вторая половина июля и первая половина августа) и выпадением ливневых осадков (конец мая, начало июля). Гидротермический коэффициент составил 1,33.

Чередование периодов тепла и холода, значительная разница между дневными и ночными температурами, а также преобладание атмосферных процессов антициклонического характера являются отличительными чертами метеоусловий 2015 года. Следствием вышеуказанных явлений стало то, что при значительных колебаниях суточных и декадных значений температур в целом температурные условия мая и июня оказались близки к норме, июль выдался на $0,5^\circ\text{C}$ холоднее, а август на $1,5^\circ\text{C}$ теплее климатической нормы. Вегетационный период 2015 года по количеству выпавших осадков можно отнести к засушливому – преобладание солнечной погоды при дефиците осадков. С мая месяца в Смоленской области отмечался затяжной – четырехмесячный – период недостатка осадков. Количество выпавших осадков в мае составило 41%, июне – 40%, июле – 67%, августе – 8% от месячной нормы. В связи с аномально сухими условиями вегетационного периода гидротермический коэффициент за май-август 2015 года равен 0,64.

По метеорологическим условиям 2016 год характеризовался как умеренно тёплый с избыточным количеством осадков (сумма осадков за апрель-июль составила 138% к среднемноголетнему значению). Среднемесячная температура воздуха в апреле, мае, июне и июле превышала климатическую норму на 1,3, 1,7 и 1,1 и $1,0^\circ\text{C}$ соответственно.

Результаты и обсуждение

Условия питания и применение биопрепарата оказали существенное влияние на массу зерна яровой пшеницы, которая изменялась от 216,2 до 383,3 г/м² (табл. 1). В варианте с использованием РК-удобрений масса зерна составила 216,2 г/м². Внесение сидерата способствовало повышению сбора зерна на 65,4% (342,6 г/м²) и массы соломы на 53,5% (520,9 г/м²). При посеве на РК-фоне инокулированными семенами прибавка массы зерна в среднем за три года составила 15,5%. В среднем за три года прибавка от инокуляции семян РА была меньше, чем от внесения биомассы горчицы (БМ), что связано с низким содержанием в почве доступных для растений соединений азота (10). В среднем за три года при посеве инокулированными семенами на фоне БМ прибавка массы зерна составила к фону РК – 167,1, к варианту БМ – 41,3 и к варианту РК+РА – 133,7 г/м².

1. Потребление азота растениями яровой пшеницы, (средние за 3 года)

Вариант	Зерно			Солома			Общий вынос, г/м ²
	масса, г/м ²	содержание N, %	вынос, г/м ²	масса, г/м ²	содержание N, %	вынос, г/м ²	
1. P60K60 (Ф) - фон	216,2	1,94	4,2	357,8	0,41	1,5	5,7
2. Ф + БМ*	342,0	2,11	7,2	520,9	0,46	2,4	9,6
3. Ф + РА**	249,6	2,01	5,0	397,1	0,42	1,7	6,7
4. Ф + БМ + РА	383,3	2,18	8,4	560,2	0,49	2,8	11,2
НСР ₀₅	27,7	–	–	43,7	–	–	–

Примечание: *БМ – биомасса горчицы белой, **РА – Ризоагрин; масса зерна и соломы рассчитаны на абсолютную влажность.

Масса соломы яровой пшеницы, как и зерна, изменялась на РК-фоне при различных метеорологических условиях вегетационного периода и в среднем составила 357,8 г/м². Применение БМ способствовало увеличению массы соломы на 46%. Инокуляция РА семян увеличила массу соломы в среднем на 11%. Улучшение условий питания растений от БМ и биопрепарата положительно отразилось на массе соломы, которая возросла на 57%.

Эффективность использования растениями азота оценивают по накоплению его в растениях, и прежде всего в зерне (11). Содержание азота в зерне возрастает при внесении под пшеницу на РК-фоне сидерата в результате улучшения условий питания, которое в среднем

за 3 года увеличилось на 0,17% абсолютных, возрастает и вынос N на 71%. Эффект от РА – только положительная тенденция. Увеличение содержания азота в зерне по сравнению с РК-фоном получено при посеве инокулированными семенами и внесении под яровую пшеницу БМ. Учитывая, что на этом варианте масса зерна получена выше по сравнению с БМ и, следовательно, был больше вынос азота, что свидетельствует об улучшении обеспеченности растений азотным питанием за счет ассоциативной азотфиксации.

Вынос азота является функцией величины урожайности зерна, массы соломы и содержания этого элемента в растениях. С использованием разностного метода возможно определить эффект от действия удобрений. Применение биомассы сидерата способствовало росту выноса азота с урожаем на 72% (табл. 2). Инокуляция семян РА повышала вынос азота как на фоне РК, так и при применении биомассы горчицы. Дополнительный вынос азота с урожаем яровой пшеницы от РА возрастал на 18% на фоне РК и на 17% - на варианте с использованием БМ. При использовании под пшеницу БМ и РА общий вынос азота урожаем получен максимальным, почти в два раза превышающий фон РК.

2. Структура потребления азота яровой пшеницей (средние за 3 года)

Вариант	Общий вынос азота, г/м ²	N удобрения		N почвы		Ассоциативный N, г/м ²
		г/м ²	% от внесенного	г/м ²	дополнительный N	
1.– Р60К60 (Ф) - фон	5,7	-	-	5,7	-	-
2. Фон + БМ	9,6	3,0	23,5	6,7	0,9	-
3. Фон + РА	6,7	-	-	6,7	-	1,0
4. Фон + БМ + РА	11,2	3,3	26,2	7,9	0,9	1,3

Инокуляция семян РА увеличила вынос ¹⁵N и коэффициент его использования растениями из удобрения на формирование урожая. При внесении БМ в результате деятельности почвенных микроорганизмов происходят процессы минерализации органического вещества, приводящие к образованию дополнительного азота, который также используется растениями на формирование урожая. Использование ¹⁵N позволило вычлнить долю дополнительного азота, который составляет 13% при внесении БМ и 8% при использовании БМ +РА от общего выноса. За счет применения РА доля ассоциативного азота в формировании урожая пшеницы достигла 1,0 г/м², а при посеве инокулированными семенами на фоне БМ – до 1,3 г/м².

Применение изотопа ^{15}N позволило выявить статьи баланса азота удобрения (табл. 3). При инокуляции семян РА возрастает на 2,7% использование азота удобрения на формирование урожая яровой пшеницы, отмечается положительная тенденция его закрепления в 20-сантиметровом слое почвы и снижаются с 24,9 до 21,0% потери азота, относящиеся преимущественно к газообразным формам [12].

Таблица 3. Баланс азота биомассы горчицы при выращивании яровой пшеницы, (средние за 3 года)

Вариант	Доза N, г/м ²	Использовано растениями	Закреплено в 20 см слое почвы	Потери
РК + БМ	12,6	3,0/23,5	6,5/51,6	3,1/24,9
РК + БМ + РА	12,6	3,3/26,2	6,7/52,8	2,6/21,0

Примечание: над чертой – азот удобрения, г/м², под чертой – % от внесенного.

Использование изотопа ^{15}N позволило определить интенсивность процессов внутрипочвенного цикла азота (минерализация ↔ иммобилизация ↔ реиммобилизация) при применении сидерата и био-препарата ризоагрин (табл. 4). Выращивание яровой пшеницы на фоне внесения биомассы горчицы белой сопровождается существенной минерализацией почвенного азота, которая не сильно изменялась при инокуляции препаратом ассоциативных микроорганизмов. Однако существенно снижались доля газообразных потерь с 25% до 21% от минерализованного азота почвы. Вследствие этого отмечалась тенденция уменьшения доли нетто-минерализованного азота (Н-М) и увеличивалась доля реиммобилизованного азота почвы.

4. Потоки азота и показатели интегральной оценки функционирования системы почва-растение при выращивании яровой пшеницы

Показатель	Фон + (БМ)	
	Без инокуляции	Инокуляция
Минерализованный азот, г/м ²	30,2	32,0
Нетто-минерализованный азот, г/м ²	15,1	15,8
Реиммобилизованный азот, г/м ²	15,1	16,2
РИ : М, %	50	51
Н – М : РИ	1,0	1,0

Инокуляция семян Ризоагрином на процессы минерализации и реиммобилизации существенного влияния не оказывала, отмечена некоторая положительная тенденция к росту показателей минерализации (+6%), нетто-минерализации (+5%) и реиммобилизации (+7%).

Системный анализ трансформации почвенного азота выявил, что режим функционирования агроэкосистемы при применении агрохимикатов и ризоагрина зависел от сбалансированности потоков нетто-минерализованного (Н-М) и (ре)иммобилизованного (РИ) азота в пуле минерализованного азота почвы (М). Использование интегральной оценки показало, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве агроэкосистема функционировала: в режиме гомеостаза при применении биомассы горчицы белой (БМ) (РИ : М = 50%, Н - М : РИ = 1,0), а уровень воздействия (нагрузка) был в норме. (рис 1).

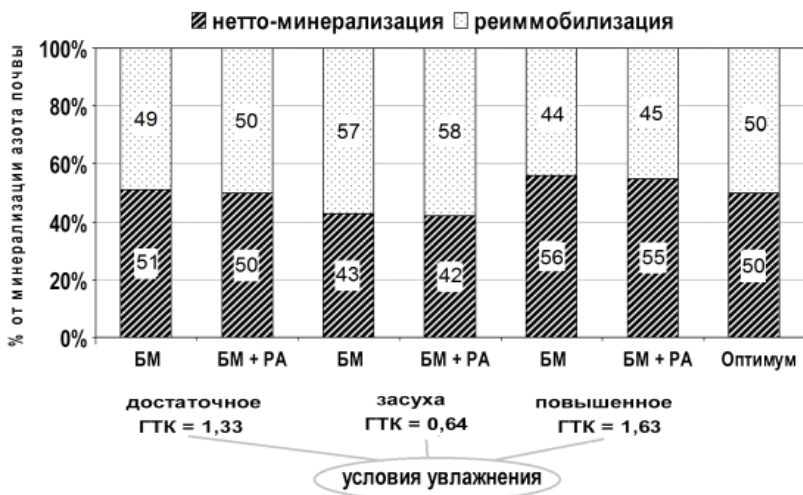


Рис. 1. Потоки азота (нетто-минерализация и реиммобилизация) в вариантах Биомасса (БМ) и Биомасса+ Ризоагрин (БМ+РА)

Существенных различий по показателю функционирования агроэкосистем между вариантами с инокуляцией яровой пшеницы ризоагрином и без него не установлено.

На устойчивость агроэкосистемы при использовании различных видов удобрений оказывают метеорологические условия выращивания яровой пшеницы. Наблюдалась смена режимов функционирования в зависимости от погодных условий – стресс-гомеостаз. Даже повышенные условия увлажнения (при 1,5 объеме выпадения осадков

к среднемноголетней норме) существенно не изменили устойчивость агроэкосистемы, что указывает на ее способность при внесении БМ проявлять «резистентную устойчивость».

Таким образом, инокуляция семян яровой пшеницы РА повышает массу зерна на 15,5% по сравнению с РК-фоном, что уступает эффективности биомассы горчицы (58%). За счёт БМ и инокуляции семян РА почти в 2 раза возрастает вынос азота с урожаем по сравнению с РК-фоном, доля биологического азота в урожае составляет 12%, азота удобрения – 26%, дополнительного азота – 8%. Биопрепарат увеличивает коэффициент использования растениями азота из удобрения на 2,7%, снижает на 4% газообразные его потери. За период вегетации минерализуется 17,7 г/м² азота, реиммобилизуется – 4,4 г/м². При внесении БМ агроэкосистема находится в состоянии гомеостаза. Инокуляция семян РА не изменяет показатели устойчивости агроэкосистемы при внесении БМ.

Литература

1. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие. – 2016.– № 5. – С. 28-32.
2. Авилов А.С., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Трансформация азота биомассы горчицы белой // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. – С. 29-31.
3. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // Агрохимия. – 2006 – № 7. С. 63-81.
4. Лошаков, В.Г. Зеленые удобрения в земледелии России / В.Г. Лошаков / под ред. Сычева В.Г. – М.: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2015. – 300 с.
5. Довбан К.И. Зеленое удобрение в современной земледелии. Вопросы теории и практики. Минск: Белорусская наука, 2009. 404 с.
6. Матюк Н.С., Гогмачадзе Г.Д., Солдатова С.С., Безуглов В.Г. Роль сидератов в экологизации и биологизации земледелия // АгроЭкоИнфо. 2010. № 1. – <http://www.Agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2010>.
7. Постников Д.А., Лошаков В.Г., Темирбекова С. Мирон М.С., Курило А.А. Сравнительная экологическая оценка традиционных и перспективных сидеральных культур в условиях Московской области // Достижения науки и техники АПК. № 8. 2014. С. 39-43.
8. Глушков В.В. Пожнивные сидеральные культуры и продуктивность ярового ячменя // Плодородие. 2013. №4. – С. 39-40.

9. Помазкина, Л.В. Новый интегральный подход к оценке режимов функционирования агроэкосистем и экологическому нормированию антропогенной нагрузки, включая техногенное загрязнение почв // Успехи современной биологии. – 2004. – Том. 124. – № 1.– С. 66-76.
10. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 112-115.
11. Завалин А.А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие. – 2018. – № 1. – С. 14-17.
12. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.

Изучение динамики соотношения железа и марганца в листьях растений сирени (*Syringa vulgaris* L.) при многократной фолиарной обработке раствором сульфата марганца

Боровик Р.А., Большеева Т.Н., Скворцов Н.Д.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения,
Кафедра агрохимии и биохимии растений*

Введение

Для поддержания декоративных качеств сирени на высоком уровне необходимо применение минеральных удобрение и контроль свойств почв. Коррекция питания сирени методом фолиарной подкормки является гораздо менее трудоёмким, более эффективным и экономически выгодным способом по сравнению с корневой подкормкой. [1]

Регулярно возникающим нарушением минерального питания сирени является дефицит марганца, появляющийся на произвесткованных, богатых фосфором и органическим веществом почвах. Как следует из наблюдений за свойствами почв города Москвы, зафосфаченность почв является очень распространённым явлением.

Поведение марганца в почвенном профиле отличается сложной динамикой из-за его способности образовывать соединения с разной степенью окисления, что меняет его биодоступность (растения могут усваивать только двухвалентный марганец) [2]. В этой связи, однократные почвенные тесты могут быть неэффективны при оценке обеспеченности растений марганцем. Листовая диагностика является более надёжным методом. Следует подчеркнуть, что на включение марганца в биохимические процессы в тканях растений значительное влияние оказывает железо – антагонист марганца. В этой связи для оценки обеспеченности тканей марганцем, проводят также определение содержания железа. Оптимальным соотношением Fe : Mn для большинства видов растений считается интервал от 1,5 до 2,5 [3, 4]

Целью исследования являлось изучение сезонной динамики соотношения железа и марганца в тканях листьев сирени обыкновенной при многократной фолиарной обработке раствором сульфата марганца, а также влияние этого соотношения на возможность возникновения визуальных признаков дефицита марганца.

Объекты и методы

Исследование проводилось в 2015-2016 годах на территории ботанического сада Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Для исследования были выбраны сорта сирени «Дочь Тамара», «Мулатка» и «Condorcet» из основной коллекции. Каждый сорт был представлен двумя кустами, расположенными рядом друг с другом и имеющими примерно одинаковый возраст и условия произрастания. Один куст сирени каждого сорта обрабатывали 0,15% раствором сульфата марганца, второй куст был контрольным. Расход рабочего раствора составлял 2 литра на один куст. За вегетационный период было проведено 4 обработки (8 мая, 9 июня, 7 июля и 6 августа 2015 г). Перед обработкой растений отбиралось по 10-15 вторых пар листовых пластин с верхушки побегов текущего года с южной стороны куста. В воздушно-сухих образцах листьев сирени после сухого озоления было определено содержание марганца и железа методом атомной абсорбции на ААС Hitachi-1980.

Для оценки почвенных свойств были отобраны смешанные почвенные образцы под каждым растением исследуемого сорта. В почве были определены следующие агрохимические показатели: рН водной вытяжки (ГОСТ 26483-85); содержание подвижных форм фосфора и обменного калия по методу Кирсанова (ГОСТ 26207-91); содержание гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); содержание подвижных форм марганца по методу Крупского и Александровой (ГОСТ Р 50686-94); содержание подвижных форм меди и цинка в вытяжке по методу Пейве-Ринькиса (ГОСТ Р 50684-94).

Результаты и обсуждение

Почвы, отобранные под кустами сирени, согласно классификации ЦИНАО (1994) характеризовались близкой к нейтральной величиной рН водной вытяжки, высоким содержанием гумуса и обменного калия, очень высоким содержанием фосфора и высоким содержанием марганца. В соответствии с классификацией почв по содержанию и степени загрязнения тяжёлыми металлами, предложенной А.И. Обуховым [5], содержание цинка и меди - повышенное и высокое (табл. 1).

1. Агрохимическая характеристика свойств почв под кустами сирени

Сорт	рН (Н ₂ О)	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Mn, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг
«Дочь Тамара»	6,1	8,86	1260,1	234,5	34,0	98,0	58,0
«Мулатка»	6,2	8,21	1078,0	244,5	32,3	107,0	80,0
«Condorcet»	6,2	8,94	1181,5	185,5	22,6	78,0	65,0

В середине июля у растений всех исследуемых сортов, которые не подвергались обработке раствором сульфата марганца, началось пожелтение листовых пластин (межжилковый хлороз). Листья обработанных растений оставались здоровыми на протяжении всего вегетационного сезона.

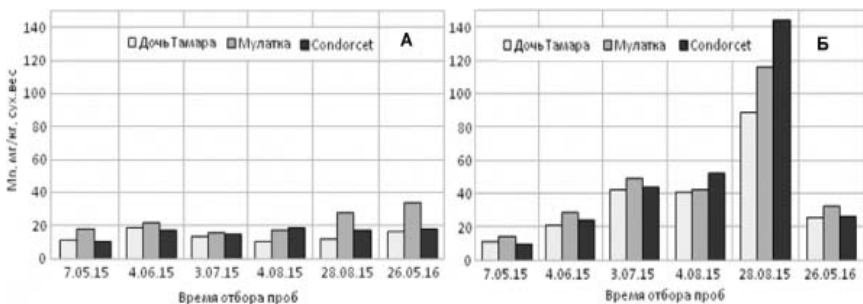


Рис. 1. Динамика содержания марганца в листьях у необработанных растений (слева) и обработанных (справа) раствором $MnSO_4$.

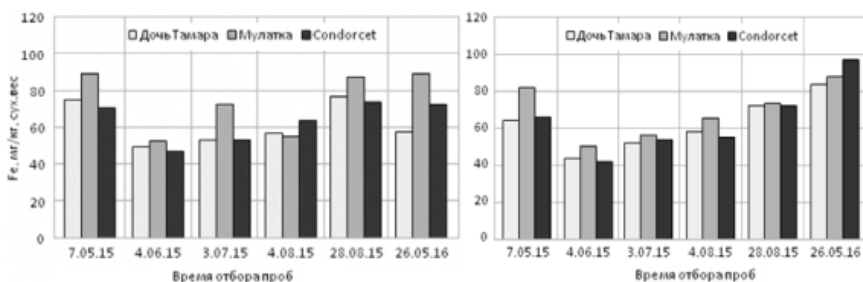


Рис. 2. Динамика содержания железа в листьях у необработанных растений (слева) и обработанных (справа) раствором $MnSO_4$.

Химический анализ тканей листовых пластин всех исследуемых сортов показал, что содержание марганца в листьях необработанных растений в течение года практически не превышало 20-25 мг/кг, а содержание железа в большинстве случаев колебалось в пределах 50-90 мг/кг. Данные по динамике содержания железа и марганца в листьях представлены на рисунках 1-2. Анализ литературных источников не позволил установить оптимальные уровни содержания этих микроэлементов в листьях сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.). Однако, считается, что для большинства растений других видов содержание в листьях марганца менее 20-25 мг/кг и железа менее 50 мг/кг сухого веса

является критическим [2, 6]. Затруднённое усвоение марганца корнями растений могло быть связано со свойствами почвы – высоким значением рН, высоким содержанием подвижного фосфора и органического вещества.

2. Средние содержания марганца в листьях сирени

	Mn, мг/кг сух.вес, среднее						
Вариант	1-й сбор	2-й сбор	3-й сбор	4-й сбор	5-й сбор	6-й сбор	HCP _{0,05}
Даты	7.05.15	4.06.15	3.07.15	4.07.15	28.08.15	26.05.16	
Без обработки	13,4	19,5	14,6	15,3	19,0	22,8	7,4
Обработка MnSO ₄	11,6	24,5	45,3	45,3	116,4	27,9	20,3
t	1,49	-3,79	-22,17	-13,02	-6,43	-1,47	
p-value	0,274	0,063	0,002	0,006	0,023	0,279	

***Примечание:** t-критерий используется для попарного сравнения групп обработанных и необработанных растений (по столбцам). HCP используется для сравнения значений между сборами внутри варианта (по строкам).

Результаты сравнения средних значений содержания марганца в листьях сирени представлены в таблице 2. Содержание марганца в листьях необработанных растений в течение вегетационного сезона мало изменялось и было ниже оптимальных значений.

Обработка растений раствором MnSO₄ привела к накоплению марганца в тканях листьев. После первой и второй обработки его содержание в листьях значительно повысилось и достигло оптимальных значений.

В конце мая 2016 года (6-й сбор) содержание марганца в листьях обработанных растений соответствовало уровням предыдущего года. Таким образом, многократная обработка растений раствором MnSO₄ не привела к накоплению марганца в растениях на следующий год.

Описанная динамика согласуется с особенностями поведения марганца в растениях. Марганец относится к элементам с низкой флоэмной проводимостью, поэтому при фоллиарной обработке он имеет тенденцию накапливаться в тканях листьев и слабо перемещается в другие органы. [7]

Попарное сравнение (табл. 3) содержания железа в листьях обработанных и необработанных растений не позволило установить достоверные различия между ними. Таким образом, обработка растений раствором MnSO₄ не повлияла на содержание железа в тканях

листьев. В течение лета содержание железа в листьях постепенно увеличивалось и к концу августа выросло в 1,5-2 раза от минимального уровня, который наблюдался после цветения.

3. Средние содержания железа в листьях сирени

Вариант	Fe, мг/кг сух.вес, среднее						НСР _{0,05}
	1-й сбор	2-й сбор	3-й сбор	4-й сбор	5-й сбор	6-й сбор	
Даты	7.05.15	4.06.15	3.07.15	4.07.15	28.08.15	26.05.16	
Без обработки	78,1	49,6	59,5	58,7	79,0	72,9	13,3
Обработка MnSO ₄	70,6	45,0	54,0	59,5	72,6	89,3	9,0
t	4,08	3,95	1,05	-0,14	1,78	-1,83	
p-value	0,055	0,059	0,405	0,904	0,217	0,209	

* **Примечание:** t-критерий используется для попарного сравнения групп обработанных и необработанных растений (по столбцам). НСР используется для сравнения значений между сборами внутри варианта (по строкам).

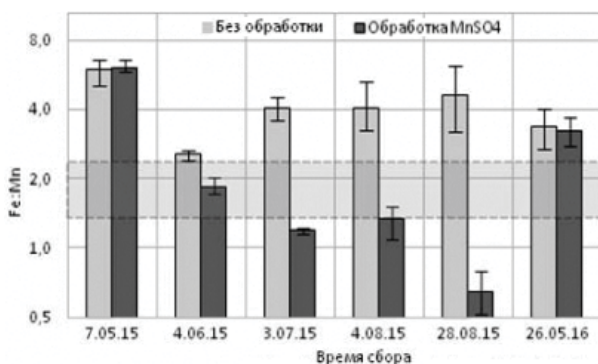


Рис. 3. Динамика соотношения Fe:Mn у растений обработанных раствором MnSO₄ и необработанных.

Показаны средние и 90% процентильные интервалы для значений при n = 3. Закрашенная область соответствует оптимальным значениям.

Обработка растений раствором MnSO₄ привела к сдвигу соотношения Fe:Mn в область оптимальных значений уже после первой обработки, что видно из диаграммы (рис. 3) и результатов дисперсионного анализа (табл. 4). За область оптимальных значений принят интервал 1,5-2,5, который является типичным для большинства видов здоровых растений [2, 4]. У необработанных растений динамика соотношения Fe:Mn определялась в первую очередь динамикой железа, поскольку содержание марганца оставалось практически неизменным в течение

всего сезона. На следующий год после цветения листья обработанных и контрольных растений не отличались между собой соотношением железа и марганца, которое не соответствовало оптимальным значениям, что являлось предпосылкой для развития марганцевого хлороза в новом вегетационном сезоне.

4. Результаты дисперсионного анализа соотношения Fe:Mn

	Ст.св.	Сум.кв.	Ср.кв.	F	p-value
Внутрисубъектная вариабельность	2	3,11	1,554		
Фактор «время сбора»	5	61,33	12,266	25,853	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Фактор «обработка»	1	26,87	26,867	56,628	$1,61 \cdot 10^{-7}$
Взаимодействие	5	21,61	4,322	9,109	$8,29 \cdot 10^{-5}$
Ошибка	22	10,44	0,474		

Выводы

Обработка растений сирени раствором сульфата марганца положительно сказалась на их декоративных качествах – листья растений оставались здоровыми на протяжении всего вегетационного сезона, несмотря на неблагоприятные свойства почв (высокое значение рН, содержание фосфора и органического вещества). У растений, не получивших дополнительную подкормку марганцевыми удобрениями, напротив, наблюдалось ухудшение внешнего вида к августу в результате возникновения интенсивного хлороза и некроза листовых пластин.

Для профилактики и предотвращения возникновения хлороза у растений сирени, произрастающих на почвах с затруднённым питанием марганцем, целесообразно проведение двух внекорневых подкормок марганцевыми микроудобрениями в первый месяц после цветения ежегодно. Кроме того, основываясь на соотношении железа и марганца в листьях после цветения можно диагностировать скрытый дефицит марганца, который может в дальнейшем привести к развитию обширных поражений листовых пластин и ухудшить внешний вид кустарников.

Литература

1. Fernández V. Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices. / V. Fernández, T. Sotiropoulos, P. Brown – Paris: IFA, 2013. – 140 p.
2. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439с.
3. Francisco A. DRIS: Concept and applications on nutritional diagnosis in fruit crops.

- / A. Francisco // *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. – 2004. – Vol.4(5). – p.550-560.
4. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений – Л: Наука, 1974, 324 с.
5. Обухов А. И. Методические основы разработки ПДК тяжелых металлов и классификация почв по загрязнению / А.И. Обухов – Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Научные труды, 1992, с. 13-20.
6. Suman B. Micro Nutrients. / B. Suman, M. Venu, B. Santhosh et al. // *MOJ Cell Science & Report*– 2017. – Vol.4(5). DOI: 10.15406/mojcsr.2017.04.00102
7. Marschner, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. / H. Marschner – San Diego: Academic Press. – 1995.– 889 p.

Оценка токсичности городских почв Вологодской области

Хамитова С.М., Авдеев Ю.М., Снетилова В.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет»

В настоящем исследовании в качестве индикаторов устойчивого развития предлагаются такие показатели антропогенного воздействия на окружающую среду как динамика выбросов, сбросов и отходов предприятий. Выбранные показатели в основном совпадают с базовыми индикаторами устойчивого развития, разработанными мировым сообществом.

Городской (урбанизированной) средой является система природных, природно-антропогенных (техногенных) и социально-экономических условий, которые способны оказывать значительное воздействие на жителей городов, чьей средой обитания являются.

Показателями качества городской среды являются индикаторы устойчивого развития города, создание экологичной урбанизированной среды – актуальное направление современности.

Одним из индикаторов экологических аспектов устойчивого развития выступает сохранение почвенного плодородия, качества земельных ресурсов, их рациональное использование, а также поддержание и сохранение растительного покрова.

Проведение исследований, а именно обнаружение и количественный учет тяжёлых металлов, токсичных веществ в городских почвах является актуальным направлением современности, которое необходимо для поддержания санитарно-гигиенических характеристик, сохранения ценных растительных пород, моделирования и разработки природоохранных мероприятий.

Цель исследования: оценка загрязнения почв в городе Вологда, Вытегорском районе и Белозерском районе тяжёлыми металлами.

Для агрохимического анализа и токсичности почвенных образцов, взятых в исследуемых городских почвах, были использованы лабораторный метод и метод биотестирования. Данное мероприятие проводится для определения степени обеспеченности почвенного покрова основными элементами минерального питания, водородного показателя и степени насыщения органическим веществом. Также была выполнена оценка степени химического загрязнения почв городов Вологды и Вытегры, которая проводилась с помощью санитарно-

гигиенического нормирования содержания тяжёлых металлов (Mg, Cu, Ni, Co, Pb, P, Cr, As, Zn) в почвенно-растительном покрове путём соотнесения фактически определенной концентрации элементов с предельно-допустимой концентрацией (ПДК). Анализ производился в Центре агрохимической службы «Вологодский» село Молочное на атомно-абсорбционном спектрофотометр «С-115 М1». Для оценки загрязнения почв при разной степени урбанизации территорий использовались почвенные пробы, взятые в городе Вологда, Вытегорском районе и Белозерском районе Вологодской области.

На территории города Вологды преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы с кислотностью > 5,5.

Основными загрязнителями почв среди тяжелых металлов на территории города Вологды являются свинец, медь и цинк. Ареалы загрязнения в большинстве случаев сосредоточены в центральной части города, а также в местах интенсивного движения автотранспорта (ж/д переезд по направлению к деревне Ершово, конец улицы Конева, берег реки Вологды в районе улицы Лаврова и Чернышевского).

В Вологде уровень загрязнения атмосферного воздуха и почв в основном обусловлен выбросами автотранспорта, ТЭЦ, предприятий станкостроения, деревообрабатывающей, оборонной промышленности. Чтобы определить степень токсичности и загрязненность почв тяжелыми металлами, было отобрано по 5 почвенных проб методом «конверта» в городе Вологде на улицах: Конева, Пошехонское шоссе, Кирова – Ленинградская и Чернышевского. В городе Вытегре в дендропарке имени Николая Клюева отобрано 4 почвенные пробы. В Белозерском районе также отобрали 5 почвенных проб на берегу Лозско – Азатского озера, на базе отдыха «Бережок» в деревне Данилово.

В целом состояние окружающей среды в Вологодской области оценивается как удовлетворительное и стабильное.

Несмотря на рост производства, в последние годы уровень загрязнения окружающей среды постепенно снижается. Значительное воздействие на все сферы природы оказывается только вблизи крупных городов и промышленных центров.

ПДК марганца не превышены ни в одной из исследуемых территорий, но в «Бережке» и в городе Вологде его значительно больше, чем в городе Вытегре. Дерново-подзолистые почвы, – содержат самое большое количество обменного марганца. При этом в почвах с кислой реакцией содержание обменного марганца прямо зависит от кислотности почвы. Чем выше кислотность, тем больше марганца переходит в обменную форму.

Реки и озера могут загрязниться кобальтом как следствие выщелачивания медных и других руд, из почв во время разложения вымерших организмов (животные и растения), ну и конечно же в результате активности химических, металлургических и металлообработывающих предприятия.

Он входит в состав растений и животным, потому что играет важную роль в их развитии. Входит в число основных микроэлементов. Если в почве наблюдается дефицит кобальта, то его уровень в растениях будет меньше обычного и как следствие могут появиться проблемы со здоровьем у животных (возникает риск возникновения малокровия). Этот факт наблюдается особенно в таёжно-лесной нечерноземной зоне. Он входит в состав витамина В12, регулирует усвоение азотистых веществ, повышает уровень хлорофилла и аскорбиновой кислоты. Без него растения не могут наращивать необходимое количество белка. Как и все тяжелые металлы, он может быть токсичным в больших количествах. В наших случаях превышения не критичны.

Загрязнение почв ртутью определяется функционированием предприятий цветной металлургии, применением ртутьсодержащих фунгицидов, использованием сточных вод в целях орошения и разработкой месторождений ртути. Накопление ртути в окружающей среде некоторые авторы связывают с применением соединений ртути в сельском хозяйстве.

В наших территориях не выявлено нарушений по нормативам ПДК.

Главными источниками поступления цинка в почву являются отходы промышленных производств, таких как цветная металлургия, лакокрасочная промышленность, гальваническое производство, а также коммунально-бытовые отходы и илы городских очистных сооружений. Важными факторами, влияющими на подвижность Zn в почвах, являются содержание глинистых минералов и величина рН. При повышении рН элемент переходит в органические комплексы и связывается почвой. Ионы цинка также теряют подвижность, попадая в межпакетные пространства кристаллической решетки монтмориллонита. С органическим веществом Zn образует устойчивые формы, поэтому в большинстве случаев он накапливается в горизонтах почв с высоким содержанием гумуса.

В исследуемых территориях, ПДК цинка значительно превышены, особенно в городах Вытегре и Вологде. На диаграмме представлен рН-показатель, по которому можно сказать, что почвы в городе Вытегре и на базе «Бережок» слабокислые, а в городе Вологде – щелочная.

Основными источниками загрязнения почв тяжелыми металлами в городе Вытегре является федеральная автодорога А-119 «Вологда – Медвежьегорск», в Белозерском районе основным источником загрязнения является ОАО «Белозерский леспромхоз» и ГП ВО «Областные электросети», в городе Вологде - это автотранспорт, заводы и компании.

В целом состояние окружающей среды в Вологодской области оценивается как удовлетворительное и стабильное.

По результатам химического анализа почв, в городе Вологде и на базе «Бережок» было выявлено значительное превышение ПДК цинка, который относится к I классу опасности, приблизительно в два раза, также выявлено превышение кобальта, относящегося ко II классу опасности, на обеих территориях, и меди – II класс опасности, на базе «Бережок». По остальным показателям нарушений и превышений ПДК не обнаружено.

Превышение цинка на территориях можно объяснить выбросами предприятий цветной металлургии, мусоросжигающих заводов, при истирании покрышек.

Сжигание топлива в наших районах привело к превышению ПДК в районах города Вологды и на базе «Бережок».

Причиной выявленных нарушений и превышений ПДК являются элементы техносферы с их выбросами, автомагистрали с выхлопными сбросами и выбросы от стационарных источников.

В настоящем исследовании в качестве индикаторов устойчивого развития предлагаются такие показатели антропогенного воздействия на окружающую среду как динамика выбросов, сбросов и отходов предприятий. Выбранные показатели в основном совпадают с базовыми индикаторами устойчивого развития, разработанными мировым сообществом.

Биологическая продуктивность леймусовых сообществ (*Leymus Chinensis* (Trin.) Tzvel.) и ёмкость круговорота макро- и микроэлементов в системе почва – растение

**Меркушева М.Г., Бадмаева Н.К., Болонева Л.Н.,
Лаврентьева И.Н.**

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
г. Улан-Удэ

Леймус китайский (*Leymus Chinensis* (Trin.) Tzvel.) характеризуется широкой амплитудой почвенно-экологических условий произрастания, но самые большие площади леймусовых сообществ распространены в поймах рек бассейна р. Селенги. Отдельные фитоценозы занимают площадь от 0,6 до 100 га. Они произрастают на прирусловых гривах, возвышенных участках центральной поймы, притеррасных полосах, конусах выноса, а также в нижних частях пологих склонов. Увлажнение, в основном атмосферное. По богатству флоры леймусовые луга превосходят все остальные формации в пойме нижнего течения рек Джиды и Уды. В этих фитоценозах обнаружено 180-213 видов, среди них злаков – 22-25, бобовых – 19, разнотравья – 135-159, осок – 11 видов. Однако видов, характерных для формации, насчитывается всего 32 (17,7 %). Преобладают среди них леймус китайский – *Leymus chinensis*, кострец безостый – *Bromopsis inermis*, одуванчик монгольский – *Taraxacum mongolicum*, кровохлебка лекарственная – *Sanguisorba officinalis*. Характерно, что в состав формации входят галофиты (ячмень короткоостистый – *Hordeum brevisubulatum*), касатик двучешуйный – *Iris biglumis*) и типичные степные ксерофиты (осока твердоватая – *Carex duriuscula*, полынь холодная – *Artemisia frigida*, лапчатка бесстебельная – *Potentilla acaulis*). В отдельных фитоценозах количество видов в среднем составляет 18.

Флора леймусовых лугов очень бедна постоянными и относительно постоянными видами, только 22 характерны в той или иной степени для леймушников.

Изученность запасов сухой надземной и подземной фитомассы в сообществах леймусовых остепненных лугов недостаточная (Бадмаева, 1999; Меркушева и др., 1997; Меркушева и др., 2009). Следует отметить широкую вариабельность в запасах надземной и подземной фитомассы и их соотношение (табл. 1).

Поскольку леймус китайский является ценным кормовым растением и в сухой наземной фитомассе составляет более 50 %, то необходимо

сохранение и повышение продуктивности этих сообществ в связи с усиливающейся и продолжительной аридизацией климата.

Цель данной работы – оценить влияние минеральных удобрений на биопродуктивность леймусовых сообществ и емкость круговорота химических элементов в системе почва – растение. Исследования проводились в пойме среднего течения р. Уды на аллювиальных дерновых слоистых почвах с относительно благоприятным водным режимом.

1. Запасы сухой надземной и подземной фитомассы в сообществах леймусовых остепненных лугов, г/м²

Сообщество, почва, местоположение	Фитомасса				Отношение надземной фитомассы к подземной
	всего	надземная	ветошь	подземная (0-50 см)	
Разнотравно-китайсколеймусовое; дерновая слоистая; пойма нижнего течения р. Орхон	4380	$\frac{185^*}{4}$	$\frac{349}{8}$	$\frac{3846}{88}$	1:21
Разнотравно-китайсколеймусовое; дерновая слоистая; пойма нижнего течения р. Кодун	1729	$\frac{126}{7,3}$	$\frac{15}{0,9}$	$\frac{1588}{91,8}$	1:11

* под чертой – % от общей фитомассы.

Применение минеральных удобрений повысило запасы надземной и подземной фитомассы и снизило количество ветоши, сузило соотношение надземной к подземной фитомассе, а также способствовало концентрированию корней в поверхностных горизонтах почв (табл. 2).

Разнообразию и наличию в ботаническом составе разнотравнолеймусового сообщества ценных видов злаков (кострец безостый, пырей ползучий и т.д.), а также относительно благоприятные условия их произрастания способствовали формированию отличного от других фитоценозов, произрастающих в пойме р. Уды, химического состава (табл. 3). Макро- и микроэлементы в зависимости от их содержания в надземной фитомассе располагались в следующем убывающем порядке: N>Si>Ca>K>Mg>S>P>Na>Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Co. Элементы-доминанты здесь представлены N, Si, Ca, K, Mg. Ca/K – отношение было равно 1,1, Fe/Mn – 1,3. В ветоши содержание N уменьшилось в 2 раза, P – в 2,2, K – в 2,4, Mg – в 1,4, Na – в 1,7, S – в 1,6, Co – в 1,5.

2. Показатели биологической продуктивности разнотравно-леймусовых сообществ при внесении минеральных удобрений

Показатели	Варианты	
	<i>Контроль</i>	<i>N90P60K60</i>
Фитомасса, г/м ² сухого вещества:		
общая	2437	3119
надземная	<u>184±34</u> 14,5*	<u>276±17</u> 16,0
ветошь	<u>28±2</u> 11	<u>9±0,1</u> 0,3
подземная	<u>2225±67</u> 84,4	<u>2834±126</u> 83,7
Балл продуктивности	4	5
Надземная: подземная фитомасса	1:12,1	1:10,2
Распределение подземной фитомассы в почве, %		
0–10 см	72,5±3,3	78,2±4,0
10–20 см	13,3±0,7	6,6±0,3
20–50 см	19,3±0,8	2,5±0,08

* под чертой – % от общей фитомассы.

Количество других элементов увеличилось по сравнению с надземной фитомассой. Так, отношение Ca/K в ветоши составляло 3,6 и Fe/Mn – 1,3. Аккумулятивный ряд элементов в ветоши имел следующий вид: Si > Ca > N > Mg > K > S > Fe > P > Na > Mn > Zn > Ni > Cu > Co.

По коэффициенту распределения химические элементы, содержащиеся в подземной фитомассе подземные сообщества в контроле разделены на 5 групп: 1) K – 5; 2) N, P, Mg – 1,2–1,9; 3) Ca, Si, S, Ni – 0,64–0,87; 4) Mn, Cu, Co, Zn – 0,39–0,53; 5) Na – 0,11 и Fe – 0,20. Следовательно, элементов первой и второй групп в подземной фитомассе было меньше, чем в надземной, других – существенно больше. Аккумулятивный ряд здесь имел следующую последовательность: Si > Ca > N > Mg > Na > S > K > Fe > P > Mn > Zn > Ni > Cu > Co. Элементами доминантами являлись: Si, Ca, N, Mg, Na.

Применение минеральных удобрений изменило концентрации химических элементов во всех структурных частях фитомассы. Так, в надземной фитомассе возросло количество N, P, K, Ca, Na, S, Fe и Mn, а содержание других снизилось (табл. 3). Макро- и микроэлементы в зависимости от их концентраций в надземной фитомассе удобренного варианта располагались следующим образом: N > Ca > K = Si > Mg > S > P > Na > Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Co.

3. Содержание макро– и микроэлементов в фитомассе разнотравно-леймусового сообщества при внесении минеральных удобрений

Показатели	Фитомасса				
	Надземная	Ветошь	Подземная, см		
			0–10	10–20	20–50
Контроль					
Зола, %	7,90	8,56	12,33	12,28	10,06
Макроэлементы, %					
N	2,84	1,40	1,50	1,41	1,45
P	0,20	0,09	0,16	0,11	0,15
K	0,98	0,41	0,20	0,17	0,19
Ca	1,21	1,48	1,36	2,07	1,72
Mg	0,78	0,58	0,30	0,42	0,66
S	0,27	0,17	0,26	0,31	0,36
Si	1,67	1,81	2,02	1,94	2,00
Na	0,05	0,03	0,40	0,44	0,48
Fe	0,03	0,10	0,13	0,18	0,18
Микроэлементы, мг/кг					
Mn	230	317	460	640	685
Zn	19,8	21,2	37,6	52,4	60,0
Cu	5,8	7,9	8,2	17,4	19,0
Co	1,8	1,2	2,0	4,2	4,0
Ni	11,6	12,3	8,6	21,0	24,6
N90P60K60					
Зола, %	6,62	7,89	12,84	13,24	11,12
Макроэлементы, %					
N	2,95	1,60	1,72	1,48	1,36
P	0,21	0,10	0,18	0,14	0,14
K	1,24	0,46	0,36	0,21	0,18
Ca	1,41	1,20	1,18	1,91	1,60
Mg	0,78	0,58	0,30	0,42	0,66
S	0,27	0,17	0,26	0,31	0,36
Si	1,67	1,81	2,02	1,94	2,00
Na	0,05	0,03	0,40	0,44	0,48
Fe	0,03	0,10	0,13	0,18	0,18
Микроэлементы, мг/кг					
Mn	240	260	464	708	700
Zn	19,0	20,1	38,4	64,0	58,2
Cu	4,6	6,4	7,4	16,8	20,2
Co	1,2	0,9	3,1	4,4	4,0
Ni	6,2	6,6	7,8	16,4	26,0

Набор элементов-доминантов оставался как и в контроле, но их порядок поменялся (N, Ca, K, Si, Mg). Ca/K – отношение было равным 1,1, Fe/Mn – 2,1. В ветоши величины данных соотношений составляли 2,8 и 5,0 соответственно. Аккумулятивный ряд химических элементов в зависимости от их содержания в ветоши составлял следующий убывающий порядок: N > Ca > Si > K > Mg > S > Fe > P > Na > Mn > Zn > Ni > Cu > Co. Наличие в группе доминантов K свидетельствовало о неполной ее трансформации, так как этот элемент в стареющих органах растений, как правило, содержится в малых количествах.

По коэффициенту распределения макро- и микроэлементы в подземной фитомассе удобренного варианта были разделены также на 5 групп: 1) K – 5,0; 2) N, P, Mg – 1,4–1,9; 3) S, Ca, Si – 0,83–0,94; 4) Mn, Zn, Cu, Co, Ni – 0,31–0,38; 5) Fe – 0,21 и Na – 0,13. По сравнению с контролем здесь отмечено повышение количества микроэлементов.

В зависимости от концентраций химические элементы в подземной фитомассе удобренного варианта располагались: Ca > N > Si > Mg > Na > S > K > Fe > P > Mn > Zn > Ni > Cu > Co. Элементы-доминанты представлены Ca, N, Si, Mg, Na.

Величины коэффициентов биологического поглощения зольных элементов зависели от почвенно-экологических условий произрастания ценозов, в т.ч. от доступности макро- и микроэлементов, их ботанического состава (большая доля злаков) и внесения минеральных удобрений (табл. 4).

4. Ряды коэффициентов биологического поглощения (Ах) в фитомассе разнотравно-леймусовых сообществ при внесении удобрений

Группы элементов биологического поглощения	Контроль		N90P60K60	
	Фитомасса			
	надземная	подземная	надземная	подземная
Очень интенсивного накопления, Ах 10–100	P > S > Ni	Zn > S > Ni > P > Fe > Mn	P > S	S > Zn > Ni > P > Fe > Mn
Среднего и интенсивного накопления, Ах 1–10	Zn > Fe > Mn > Mg > K > Ca > Cu	N > Ca > Mg > Cu > Co	Ni > Fe > Zn > K > Ca > Mn > Mg > Cu	N > Ca > Mg > Cu > Na > Co
Среднего захвата, Ах 0,1–1	Si > Na > Co	Na > K > Si	Si > Na > Co	K > Si

Особенностью биологического поглощения элементов надземной фитомассой было вхождение Fe в группу среднего и интенсивного накопления и увеличение интенсивности поглощения этого элемента при внесении минеральных удобрений. Несмотря на разную степень подвижности Со в почвах, в ряду биологического поглощения надземной фитомассой он устойчиво относится к группе среднего захвата, что, вероятно, обусловлено избирательностью растений к накоплению этого элемента.

По общему количеству химических элементов, вовлеченных в биологический круговорот, разнотравно-леймусовые сообщества характеризовались большой емкостью круговорота (с индексами 9 баллов) – 2208 кг/га в контроле. Тип химизма круговорота азотный с большим участием К и Са. Вынос химических элементов с отчуждаемой фитомассой был равен 309,4 кг/га, или 18,6 % от общего количества элементов. Круговорот – скомпенсированный.

На удобренном варианте емкость круговорота возросла в 1,4 раза по сравнению с контролем. Вынос элементов с отчуждаемой фитомассой возрос в 1,5 раза.

Запасы N, P и K – элементов, лимитирующих биопродуктивность, составили в контроле разнотравно-леймусового сообщества соответственно 26,5 %, 2,5 и 4,9 %; на удобренном варианте: N – 27 %, P – 2,6 и K – 6,8 %, т. е. травы благоприятно реагировали на внесение полного минерального удобрения.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-416-03-0028.

Литература

1. Бадмаева Н.К. Популяционная структура вострецов в Забайкалье (на примере *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. и *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. subsp. *Crassinervis* (Kar. et. Kir.) Tzvel. : Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 1999. – 23 с.
2. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Биопродуктивность и содержание макро- и микроэлементов в надземной и подземной фитомассе пойменных остепненных лугов в бассейне реки Селенги // Агрохимия. – 1997а. – № 1. – С. 28-35.
3. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Болонева Л.Н., Бадмаев А.Б., Лаврентьева И.Н., Г. Эрдэнэжав, Кривобоков Л.В., Дорошкевич С.Г. Продукционные процессы в пойменных фитоценозах бассейна р. Селенги. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. – 394 с.

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННЫХ
И ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ
«ПОЧВА-ТЕХНОЛОГИЯ-УДОБРЕНИЕ-СРЕДСТВА
ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ-ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ**

Методологические подходы к разработке приёмов управления и моделей плодородия почв для разных уровней урожайности культур

Черненко В.Г.

*Казахский Агротехнический университет
имени С.Сейфуллина, г.Астана*

Введение

Важнейшей проблемой в сельском хозяйстве Казахстана является проблема повышения плодородия почв и ее производительной способности. Экстенсивное земледелие на протяжении более 50 лет привело к серьезному снижению потенциального и эффективного плодородия почв. Потери гумуса, главного источника пищи для растений, достигли 25-30%. Около 70% почв имеют низкую и очень низкую обеспеченность по фосфору и около 50% по азоту, а это почти 16 млн. га из 22,3.

Снижение почвенного плодородия с каждым годом усиливается. Ежегодно безвозвратно отчуждается около 2,5 млн. питательных веществ, что ведет к углублению деградации, снижению плодородия почв, что обусловленного низким уровнем применения минеральных удобрений – 4,6 кг д.в/га. Это даже ниже уровня 1965 г. (5 кг/га) и в 7 раз меньше, чем в 1986 г, когда применялось 29 кг/га. Выход из этой ситуации может быть только один – интенсификация производства продукции растениеводства.

В сельском хозяйстве нет другого более эффективного и быстродействующего фактора, чем удобрения, способного обеспечить повышение плодородия почв, продуктивность и качество культур. Надежды на ростовые вещества, как альтернативы удобрениям ничем не обоснованны. Как показали наши исследования 2014-2017 гг., ростовые вещества могут стимулировать рост, развитие растений, но реализовывались в продуктивности только на фонах удовлетворительно обеспеченных основными элементами питания.

Принимаемые в последние годы меры по развитию АПК направлены на интенсификацию и цифровизацию сельскохозяйственного производства. Но цифровизация сельского хозяйства должна базироваться на приемах и технологиях точного земледелия, что ставит перед агрохимической наукой и агрохимической службой сложную задачу по разработке приемов управления плодородием почв и продуктивностью культур и повышению качества агрохимического

обслуживания, пересмотру стандартов, допускающих отклонение показателей до 25% и более.

Но известно, что действие удобрений зависит от очень многих факторов во многом зависит от выбора метода диагностики потребности культур в элементах питания и расчета доз удобрений.

Это и являлось целью наших исследований на первом этапе.

Объект и методы исследования

Объектом исследований являлись темно-каштановые почвы и зерновые культуры. Решение этих вопросов требовало накопления большого экспериментального материала охватывающего все многообразие условий и факторов.

Почвы объектов исследования значительно отличались по уровню плодородия. Так, содержание гумуса по средним характеристикам варьировало от 1,9 до 4,8%, рН 6,7-8,5; мощность гумусового горизонта от 22 до 46 см; содержание Са от 10,9 до 28 мг, Mg от 2 до 14,4 мг-экв/100 г почвы, содержание физической глины от 14 до 59%.

Результаты исследований

Поиск наиболее совершенных методов диагностики условий минерального питания культур и определения доз удобрений является главным вопросом в агрономической химии, вокруг которого развивались и развиваются теоретические и прикладные исследования. На протяжении многих десятилетий решение этих вопросов основывалось на чисто эмпирических данных полевых опытов, определению средней наиболее эффективной дозы удобрений для изучаемой культуры, которая и рекомендовалась производству, как «универсальная». Но в производственных условиях эта доза, как правило, давала другой результат.

Наши исследования этой проблемы в длительных стационарных и краткосрочных опытах, проведенных на почвах Северного Казахстана с различными культурами позволили прийти к убедительному выводу, что полевой опыт, считающийся классическим методом диагностики, не решает этой проблемы. Результаты полевого опыта носят сугубо частный, локальный характер и отражают лишь ту ситуацию, в которой он проведен. Одна и та же доза на одних и тех же почвах, под одну и ту же культуру даёт разный результат на разных полях, что затрудняет выбор оптимальных решений [1]. Это же в свое время отмечали в своих работах Бурлакова Л.М. (1984), Кулаковская Т.М. (1990) [2, 3].

Не решают этой проблемы и балансовые методы в богарных условиях с недостаточным и неустойчивым увлажнением, основанные на крайне неустойчивых коэффициентах выноса урожаем и использования элементов питания из почвы и удобрений [4]. Так, вынос элементов питания 1 ц пшеницы, в зависимости от условий выращивания, варьировал в 2-3 раза, КИП в 2,5 - 3, КИУ от 2,5 (азот) до 20 крат по фосфору, расчетные дозы – азота в 3, а фосфора в 12,5 раз (от 40 до 500 кг/га) в зависимости от того, какие показатели использовались – минимальные, максимальные или средние в пределах варьирования. На урожай 20 ц/га, при содержании P_2O_5 в почве на уровне 20 мг/кг почвы и л/г азота 40 мг/ кг почвы, дозы азотных удобрений по расчётам составляли от 40 до 120 кг д.в, а фосфорных от 40 до 500 кг д.в.на га. В действительности же 20 ц яровой пшеницы на данном поле получены при внесении азота в дозе 30 кг, а фосфора 150 кг/га д.в.

Исследования показали, что в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения, использование балансовых расчётов недопустимо в силу высокого варьирования всех показателей его составляющих.

Для определения наиболее точного метода диагностики потребности культур в удобрениях и целенаправленного управления плодородием почв необходимо было: выявить факторы, определяющие формирование урожайности и эффективность удобрений; определить количественную взаимосвязь факторов; определить оптимальные параметры каждого фактора, обеспечивающие формирование максимально возможной в складывающихся условиях урожайности; определить затраты удобрений для достижения этих параметров. С этой целью нами в течение длительного времени изучалось 12 показателей агрохимических и физических свойств почв общепринятыми в агрохимии методами [5]. Исследованиями установлено, что в формировании урожайности определяющее значение имеют: гумус, рН, Са + Mg, N- NO_3 , P_2O_5 и их соотношения, K_2O и влагообеспеченность. Роль других факторов – мощность гумусового горизонта, содержание физической глины, водопрочные и агрономически ценные агрегаты, целлюлозоразлагающая способность почв малозначимы в силу слабой их вариабельности в пределах одного подтипа почв.

Гумус, рН, Са+Mg, К характеризуются относительной устойчивостью и меньшим варьированием в пределах одного агроландшафта.

Наиболее динамичными и в высокой степени подверженными изменчивости под действием внешних факторов, являются содержание

и соотношение основных элементов питания и влагообеспеченность. Для почв Северного Казахстана с высокой обеспеченностью калием это - содержание подвижного фосфора, в слое 0-20 см азота-нитратов в слое 0-40 см, их соотношение и влагообеспеченность. В пределах конкретного агроландшафта. Именно они определяют величину и качество урожая.

На основании корреляционного анализа была установлена количественная взаимосвязь каждого фактора с продуктивностью ведущих зерновых а в последующем и других культур, определены оптимальные параметры, обеспечивающие формирование максимально возможной продуктивности в складывающихся условиях возделывания.

Зная оптимальный уровень содержания элемента в почве для исследуемой культуры и эквивалента затрат удобрений для повышения его содержания в почве на 1 мг позволяет с высокой точностью рассчитать дозу удобрений применительно к каждому полю и к конкретной культуре, используя формулы:

$$\text{По фосфору: } D_p \text{ кг/га} = (P_{\text{опт}} - P_{\text{факт}}) \cdot 10$$

где 10 - эквивалент кг P_2O_5 удобрений на 1 мг дефицита P_2O_5 в почве.

$$\text{По азоту: } D_N \text{ кг д.в.} = (N_{\text{опт}} - N_{\text{факт}}) \cdot 7,5 \cdot \text{ПК}_{\text{увл.}}, (2)$$

где: 7,5 – затраты азота удобрений на 1 мг $N-NO_3$ /кг почвы в слое 0 - 40см; $\text{ПК}_{\text{увл.}}$ – прогнозируемое увлажнение $>$ или $<$ 1, рассчитанный по отношению: прогнозируемое количество осадков за сельскохозяйственный год на год внесения азотных удобрений к 275.

В этих формулах наиболее полно учтены биологические особенности каждой культуры, ее требования к условиям почвенного питания и плодородие каждого поля с точностью до 1 мг .

Разработанные методы определения дефицита элемента в почве, расчета доз приемлемы для управления почвенными процессами в системе точного земледелия.

Установление количественной взаимосвязи продуктивности с другими факторами и определение их оптимальных параметров позволило разработать модели плодородия для разных уровней урожайности.

Банк данных из 400 показателей позволил выделить 8 уровней урожайности с шагом 5 ц - от 10 до 40 ц.

Ниже приведены модели плодородия почв для 2-х уровней урожайности яровой пшеницы и показатели фактически полученных урожаев и рассчитанных по моделям:

$$2. 10-15 \text{ ц (п. 219): } y = 4,4 + 1,63x_1 + 0,32x_2 + 0,04x_4 + 0,02x_5 - 0,02x_6 + 0,02x_8,$$

6. 30-35 ц (п. 33): $y = 43,92 + 1,6x_1 - 3,24x_2 + 0,22x_3 + 0,05x_5 + 0,03x_6 - 0,2x_7$, где x_1 - гумус, %; x_2 - рН; x_3 - Са+Mg, мг/экв. на 100 г почвы в слое 0-20 см; x_4 - N-NO₃, мг/кг почвы в слое 0-40; x_5 - P₂O₅ мг/кг почвы в слое 0-20 см; x_6 -K₂O мг/100 г почвы в слое 0-20 см; x_7 -отношение P/N; x_8 -продуктивная влага в слое 0-40 см; x_9 -в слое 0-100 см.

Связь фактической и теоретической урожайности яровой пшеницы по уравнениям (y) регрессии

До 10 ц, п. 47, у. 24	10,1-15 ц, п.219, у.26	15,1-20 ц, п. 71, у. 27	20,1-25 ц, п. 8, у. 28	25,1-30 ц, п. 14, у. 30	30,1-35 ц, п. 33, у. 31
Факт-теор.	Факт-теор.	Факт-теор.	Факт-теор.	Факт-теор.	Факт-теор.
8,3-8,7	11,2-12,3	15,7-15,5	20,7-21,3	29,9-29,7	30,1-30,4
7,9-8,3	11,0-11,4	15,4-15,7	24,7-25,1	28,9-27,5	31,1-32,5
7,5-8,5	11,6-11,8	16,5-16,5	22,5-22,5	29,6-28,6	30,5-30,7

Выводы

Выявление основных факторов агрохимических показателей плодородия почв, определяющих формирование урожайности, а отсюда и эффективности удобрений; определение их оптимальных параметров, используя приведенные формулы расчета доз удобрений, позволяют с высокой точностью целенаправленно управлять плодородием почв, обеспечивая реализацию потенциальной продуктивности культур и при желании получение определенного уровня урожайности по соответствующим моделям. Разработанные приемы и методы полностью соответствуют условиям точного земледелия и системе цифровизации сельского хозяйства.

Литература

1. Черненко В.Г. Научные основы и практические приемы управления плодородием почв и продуктивностью культур в Северном Казахстане.- Астана, 2009.
2. Бурлакова Л.М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза.- Новосибирск: «Наука», 1984. 270 с.
3. Кулаковская Т.М. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений.- М., 1990, 218 с.
4. Черненко В.Г. К вопросу об использовании балансовых методов определения доз удобрений в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения. Вестник науки.- Акмолинский сельскохозяйственный институт.- Акмола, 1996.- С. 58-65.
5. Агрохимические методы исследований.- Москва, 1975.- 655 с.

Прогнозирование урожайности ярового ячменя на основе ГИС - технологий

Дорофеева Т.С.

*Российский государственный аграрный университет МСХА
имени К.А. Тимирязева, Институт природообустройства
имени А.Н. Костякова*

Для расчёта линейных моделей и прогнозных карт потенциальной прибавки урожайности ярового ячменя на территории северо – западной части Окского бассейна применяется расширенная система количественных характеристик рельефа, известных в геоморфометрии, как морфометрические величины (МВ), климатические данные за период 1966 – 1996 гг. и информацию о типах почв, расположенных в пределах заданной территории. Для расчёта используются методы статистического анализа и множественной регрессии, данные урожайности ярового ячменя и о типах почв по отчётам о полевых опытах с удобрениями Агротехслужбы и Геосети России, данные о земной поверхности НАСА SRTM30, данные по климату из базы данных WorldClim. В данной статье рассмотрено влияние почв, характеристик рельефа, климатических факторов на урожайность ярового ячменя на территории северо-западной части Окского бассейна. Исследование показало, что на урожайность ярового ячменя в северо-западной части Окского бассейна почвы не влияют. Основными предикторами повышения урожайности являются климатические показатели и рельеф. Зная их характеристики, можно определить четыре основных предиктора, влияющих на прибавку урожайности ярового ячменя, и построить прогнозную карту с рассчитанными цифрами урожайности для экстенсивного, интенсивного и среднего уровней возделывания сельскохозяйственных культур.

Актуальность данной работы заключается в том, что проведение такого исследования позволит с помощью статистического анализа и множественной регрессии создавать линейные модели, на основе которых, впоследствии можно получить прогнозны карты, позволяющие выделять территории, где существует высокая вероятность получения прибавки урожайности любой сельскохозяйственной культуры, в нашем случае – ярового ячменя, в целях улучшения системы севооборотов для повышения качества и количества товарной и производственной продукции сельскохозяйственных культур.

Целью написания данной работы является определение степени влияния характеристик рельефа, почв, а также климатических данных за многолетний период на потенциальную прибавку урожайности ярового ячменя в агроландшафтах северо – западной части Окского бассейна.

Задачи исследования:

1) Создать (уравнения урожайности) линейные модели урожайности ярового ячменя для территории северо – западной части Окского бассейна;

2) Создать прогнозные карты урожайности ярового ячменя при экстенсивном, интенсивном и среднем уровне возделывания сельскохозяйственных культур и определить возможные цифры прибавки урожайности ярового ячменя для северо – западной части Окского бассейна.

Объектом исследования является северо – западная часть Окского бассейна на территории которой расположено 5 областей: Московская, Смоленская, Калужская, Орловская, Тульская, а также полевые опыты с яровым ячменём, проводимые с 1966 – 1996 гг.

Для прогнозирования потенциальной урожайности ярового ячменя использовались характеристики урожайности, полученные из базы данных «Агрогеос», созданной при объединении данных Геосети и Агрохимслужбы. База данных «Агрогеос» содержит информацию о полевых опытах со всеми сельскохозяйственными культурами, в том числе с яровым ячменем. Основная единица хранения и обработки информации базы данных «Агрогеос» – данные наблюдений за один год в одном варианте полевого опыта.

При написании работы использовались сведения о типах почв, взятых из отчётных карточек, о земной поверхности и климате, взятых из открытых источников НАСА SRTM30 и базы данных «WorldClim» для преобразований сеток матриц использовались программы «Аналитическая ГИС Эко», «MapInfo», для вычисления уравнений урожайности (линейных моделей) и создания прогнозных карт применялись программы «ArcView», «AgroMap Calculation».

С помощью методов статистического анализа и множественной регрессии были выявлены или не выявлены связи характеристик урожайности с рельефом, климатом и почвами. На их основе были рассчитаны матрицы характеристик урожайности (разрешения 600 м в плане), рассчитаны предикторы, влияющие на урожайность ярового ячменя, построены карты потенциальной прибавки урожайности при различных дозах внесения удобрений.

Моделирование продуктивности сахарной свеклы в зависимости от агрохимических свойств чернозёмов при применении азотных удобрений

Ильюшенко И.В.

ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», г. Москва

Рассмотрена возможность регулирования уровней обеспеченности почвы питательными веществами в зависимости от агрохимических показателей почвенного плодородия на черноземах Центрального округа при выращивании сахарной свеклы. Полученная модель прогноза позволяет рационально использовать минеральные удобрения не нанося ущерб почвенному плодородию и окружающей среде.

Известно, что агрохимические свойства почв характеризуют уровень почвенного плодородия, который не постоянен; изменения происходят под действием различных факторов, среди которых главным является применение удобрений. В годы интенсивной химизации сельского хозяйства баланс питательных веществ складывался с превышением их поступления в почву над выносом урожаем, что позволило за короткий срок увеличить их содержание [1]. В настоящее время вынос элементов питания превалирует над поступлением, что влечет за собой снижение плодородия почв по агрохимическим показателям. Ранее были разработаны нормативы потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях, в которых дозы удобрений дифференцировали по экономическим районам и природным зонам России. Они не были привязаны к типам почв и их агрохимическим свойствам. Однако, данные факторы оказывают существенное влияние на эффективность минеральных удобрений [2, 3]. Весьма актуально проведение аналогичной работы для основной технической культуры - сахарной свёклы.

Цель исследования – изучить влияние агрохимических свойств чернозёмов на эффективность применения азотных удобрений под сахарную свёклу.

Для решения поставленных задач были использованы результаты полевых опытов агрохимслужбы по чернозёмам Центрального федерального округа, которые были перенесены в электронную базу данных. Это позволило обобщить большое количество материала, который охватывает все возможные ситуации, встречающиеся в производственных условиях при выращивании сахарной свеклы. В результате собраны достаточно обширные выборки с большим

диапазоном колебаний агрохимических показателей, не свойственных классическим представлениям о черноземных почвах

Рассматривая влияние факторов на формирование прибавки урожая, можно ограничиться только признаками, связь которых характеризовалась как сильная ($r < 0,7$) и средняя ($r = 0,3-0,7$) по тесноте в изучаемой системе и пренебречь влиянием малозначимых факторов. Это позволит упростить расчеты и на основании системного анализа закономерностей количественно оценить вклад каждого из изучаемых факторов в формирование прибавки урожая.

Результаты статистической характеристики связи прибавки урожая сахарной свеклы с азотными удобрениями показали, что основной вклад в прибавку урожая сахарной свеклы на черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных оказывали два фактора: содержание азота в почве и доза азотных удобрений.

На основе полученных закономерностей был произведен соответствующий расчет и получена модель эффективности применения азотных удобрений, результаты которой приведены в таблице 1.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что содержание азота в почвах, независимо от метода его определения, оказывало существенное влияние как на урожайность сахарной свеклы и на эффективность применения под нее азотных удобрений. С увеличением содержания азота в почвах урожайность возрастала в широком диапазоне. На черноземах выщелоченных на 59 ц/га, типичных на 50, обыкновенных – на 71 ц/га. Прибавка урожая от азотных удобрений снижалась при улучшении обеспеченности почв азотом. Разница в приросте урожая при этом колебалась в зависимости от почвенной разновидности от 4 до 14 ц/га. Окупаемость азотных удобрений также заметно снизилась при возрастании содержания азота в почве, увеличение доз приводило к снижению оплаты урожаем каждого внесенного килограмма азота.

Таким образом, при помощи моделирования видно, что агрохимические свойства черноземов оказывают существенное влияние на урожайность и эффективность применения минеральных удобрений под сахарную свеклу, которое необходимо учитывать при разработке рациональных систем удобрения.

Полученная модель прогноза позволяет регулировать уровни обеспеченности почвы питательными веществами в зависимости от агрохимических показателей почвенного плодородия на черноземах Центрального округа при выращивании сахарной свеклы.

1. Эффективность применения азотных удобрений под сахарную свёклу

Содержание азота в почве, мг/кг	Урожай без удобрений, ц/га	Прибавка урожая, ц/га						Окупаемость азота, кг/кг					
		Доза азота, кг/га											
		60	90	120	150	180	60	90	120	150	180		
Чернозёмы выщелоченные (метод Корнфилда)													
<100	175	14	25	31	35	37	23	28	26	23	21		
101-150	194	11	23	29	32	35	19	25	24	22	19		
151-200	220	10	22	28	31	33	16	24	23	21	19		
>200	234	9	21	27	30	33	15	23	22	20	18		
Чернозёмы выщелоченные (метод Кьельдаля)													
<2300	227	10	22	28	32	34	17	25	23	21	19		
2300-2670	252	8	20	26	29	32	13	22	21	20	18		
2700-3000	260	6	18	24	27	30	10	20	20	18	17		
>3000	275	4	15	21	25	27	6	17	18	17	15		
Чернозёмы типичные (метод Корнфилда)													
<100	275	23	26	28	29	30	38	29	23	19	17		
101-150	291	19	23	24	25	26	32	25	20	17	15		
151-200	312	18	21	23	24	25	30	24	19	16	14		
>200	325	16	19	21	22	23	27	22	18	15	13		
Чернозёмы обыкновенные (метод Тюрина-Кононовой)													
<40	184	28	34	38	40	41	46	38	31	26	23		
41-50	194	21	28	31	33	34	45	31	26	22	19		
51-70	255	14	21	24	26	28	29	23	20	18	15		

Полученные данные можно использовать при определении доз удобрений в расчете на планируемый урожай, на сохранение и повышение плодородия почв.

Литература

1. Сычёв В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА,2013.-296 с.
2. Шафран С.А., Козеичева Е.С., Ильюшенко И.В. Оценка методов почвенной диагностики азотного питания сахарной свеклы. //Агрохимия,2015- №8.- С.27-32
3. Ильюшенко И.В. Применение азотных удобрений под сахарную свеклу при различной обеспеченности черноземов минеральным азотом и подвижным фосфором.// Агрохимический вестник. 2018. № 1. С. 31-33.

Эффективность применения современного комплексного удобрения Плантафол при выращивании табака

Плотникова Т.В., Сидорова Н.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», г. Краснодар

ВВЕДЕНИЕ. Систематическое внесение удобрений и, в первую очередь, минеральных, позволяет поддерживать высокий уровень получаемой урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности почв. Но необходимо учитывать довольно высокие затраты на применение средств химизации и постоянно возрастающую их стоимость. Кроме того, отнесение традиционных удобрений к загрязняющему фактору окружающей среды (стресс-индекс, отражающий меру экологической опасности – 63 [1]) сдерживает их использование, особенно в полевой период. В настоящее время идет тенденция к совершенствованию агротехнологий с целью повышения урожая и качества продукции на фоне сохранения благоприятного состояния окружающей среды. Перспективным направлением в сельском хозяйстве является использование экологичных и экономически эффективных удобрительных средств. К их числу относятся комплексные водорастворимые удобрения пролонгированного действия, содержащие все необходимые питательные элементы – макро-, мезо- и микроэлементы в минеральной и хелатной форме и применяемые в очень небольших дозах, в основном некорневым способом, что значительно сокращает потери препаратов.

Технология возделывания табака также в основном базируется на применении природоохранных современных удобрений, которые, как показывает практика, целесообразнее применять в рассадный период. Многолетними исследованиями доказано, что полученная к оптимальному сроку высадки стандартная рассада табака является залогом высокого и качественного урожая. Поэтому все усилия возлагаются на данный период. Трехкратное внесение некорневым способом комплексных удобрений, в том числе перед выборкой, поддерживает растение не только в период роста в условиях рассадника, но и подготавливает растение к стрессу, которое оно испытывает при пересадке в поле.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В результате исследований, проведенных на экспериментальной базе ВНИИТТИ (г. Краснодар) удалось выделить по положительному эффекту препарат

Плантафол (Италия, Vilagro), содержащий в своем составе основные питательные элементы N₂₀P₂₀K₂₀, микроэлементы в хелатной форме – В, Fe, Mn, Zn, Си, Мо, а также ПАВ и адъюванты, повышающие кутикулярную клеточную проницаемость и эффективность листовых подкормок, и прилипатель [3].

Табачную рассаду выращивали в необогреваемых парниках. Сорт табака – Юбилейный новый 142. Опыт закладывался на длительно несменяемой питательной смеси (11-12 лет) с предварительным созданием азотного фона из расчета 50% от оптимального содержания лабильного азота. Такая питательная смесь являлась контролем и фоном. Эталон – вариант с расчетно-оптимальным содержанием главных питательных элементов в парниковой смеси: сумма нитратного и аммиачного азота – 65-70 мг, подвижного фосфора и обменного калия – 50-60 мг на 100 г смеси, созданного за счет использования однокомпонентных минеральных удобрений (аммиачная селитра, суперфосфат и сульфат калия) на основании проведенных агрохимических анализов. Испытываемый препарат в парниковых условиях вносили способом полива до полного смачивания растений в основные фазы развития табачной рассады: «крестик», «ушки» и «годная к высадке» в дозе 0,3 г/м² из расчета 1 л питательного раствора на 1 м². Качество технически зрелой рассады определяли по разработанной методике [4]. Оценку степени развития корневой системы растений по способности удерживать на корнях питательную смесь проводили по разработанному методу [5]. Для оценки продуктивности культуры растения после выборки высаживали из парника в поле в соответствии с вариантами опыта. Почва опытного участка – западно-предкавказский чернозём, выщелоченный с содержанием гумуса – 3,8%; подвижного фосфора – 130 мг/кг и обменного калия – 252 мг/кг абсолютно сухой почвы.

Все исследования в поле проводили по соответствующим методическим указаниям [6, 7, 8]. Химический состав табачного сырья (в высушенных листьях третьей ломки) оценивали в лаборатории химии и контроля качества ВНИИТТИ. Оценку достоверности полученных данных проводили по Б.А. Доспехову [9].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. В результате проведенных парниковых опытов выявлено, что трехкратная обработка табачной рассады по основным фазам развития («крестик», «ушки» и «годная к высадке рассада») препаратом Плантафол (в однократной дозе 0,3 г/м²) способствовала увеличению длины растений до точки роста на 78%; до

конца вытянутых листьев – на 60% (табл. 1). Корневая масса удобренной рассады превысила контроль на 73%, наземная – на 54%, толщина стебля у корневой шейки увеличилась на 1,3 мм. На эталонном варианте с использованием полной дозы минеральных удобрений показатели оказались очень близкими к данным полученным на делянке указанной выше.

Обработанная рассада удобрением Плантафол имела хорошо развитую корневую систему, её способность удерживать питательный субстрат оказалась в 2,7 раза выше. Так, на корнях 25 растений выбранных с варианта где применяли Плантафол содержалось 222,0 г питательной смеси, при этом на контрольных растениях 82,8 г, на эталонных – 213,3 г. Выход стандартной рассады к оптимальному сроку высадки её в поле при применении испытанного агрохимиката превысил значение контроля на 24%.

1. Влияние современного комплексного удобрения Плантафол на биометрические показатели и выход стандартной рассады

Вариант	Длина растений (см) до		Количество листьев, шт.	Диаметр стебля, мм	Вес (г) 25 сырых		Выход стандартной рассады, шт.
	точки роста	конца вытянутых листьев			стеблей	корней	
Контроль	7,4	16,4	5	3,6	123,8	6,4	684
Эталон (NPK)	14,0	27,8	5-6	5,0	194,4	11,0	860
Плантафол (0,3 г/м ²)	13,2	26,2	5-6	4,9	190,8	11,1	848

Пересаженные из рассадника обработанные препаратом Плантафол растения, в результате так называемого «пролонгированного эффекта качественной рассады», лучше сформировали все структурные элементы урожая. Так, высота данных растений превышала контрольные к концу вегетации на 18%, площадь листа среднего яруса на 17% (табл. 2). Применение препарата Плантафол в рассаднике позволило сократить вегетационный полевой период и увеличить число продуктивных семенных растений (с побуревшими коробочками) к концу уборки на 18%. Кроме того ускорение роста и развития за счёт удобрения отразилось и на снижении на 12% количества недоразвитых растений.

Одним из важнейших хозяйственно-ценных признаков табака является урожайность его листьев. Применение удобрения Планта-

фол при выращивании табачной рассады позволило получить достоверную прибавку и обеспечило повышение урожайности сырья на 5,3 ц/га (19%) по сравнению с контролем (НСР -2,0 ц/га) (табл. 2).

2. Влияние использования современного комплексного удобрения Плантафол на структурные элементы и урожайность табака

Вариант	Высота растений к концу уборки, см	Количество растений с побуревшими коробочками, %	Площадь листа среднего яруса, см ²	Урожайность, ц/га	Прибавка	
					ц/га	%
Контроль	119	67	607	28,7	-	-
Эталон НРК	140	87	707	33,9	5,2	18
Плантафол 0,3 г/м ²	140	85	709	34,0	5,3	19

Примечание. Удобрения применялись только при выращивании рассады табака.

Важным критерием оценки эффективности технологического приёма является его влияние на качество получаемого сырья. Основными показателями при этом являются белки, никотин и углеводы. Крепость табака зависит от содержания в нем никотина, углеводы улучшают, белки ухудшают курительные достоинства табака. Оценивать качество сырья принято углеводно-белковым отношением или число Шмука. Отмечено, что испытанное удобрение Плантафол улучшает химический состав табачного сырья за счёт снижения количества белков (в 1,1 раза) и увеличения содержания углеводов (в 1,5 раза).

ВЫВОДЫ. Таким образом, установлена высокая эффективность трехкратного некорневого применения современного комплексного удобрения Плантафол (в однократной дозе 0,3 г/м²) на табаке в рассадный период по основным фазам развития «крестик», «ушки» и «годная к высадке рассада» не уступающая по всем показателям затратному варианту (эталону) с внесением в питательную смесь сбалансированного минерального удобрения. За счёт выгонки более качественной рассады на фоне пролонгированного действия Плантафола получена достоверная прибавка урожая 5,3 ц/га (19%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко, В.А. Геохимия окружающей среды. Учеб. пособие для вузов / В.А. Алексеенко, М.С. Бузмаков, М.С. Панин // Перм. гос. нац. исслед. ун-т. - Пермь, 2013. - 359 с.
2. Оказов, П.Н. Технология выращивания рассады табака на несменяемой смеси в парниках и пленочных теплицах / П.Н. Оказов, Б.Г. Иваненко, И.И. Мурзинова [и др.]. - Краснодар, 1987. - 32 с.
3. Плантафол. Удобрения NPK с микроэлементами в хелатной форме для листовых подкормок // Современные агрохимикаты. Эффективное питание растений. Каталог – 2015 (агронастер). - Краснодар, 2015. - С.50.
4. Алёхин, С.Н. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком в рассадниках / С.Н. Алёхин, Т.В. Плотникова, В.А. Саломатин, И.И. Мурзинова / ГНУ ВНИИТТИ, – Краснодар, 2013. – 27 с.
5. Еремеев, Г.Н. Метод предпосадочного контроля приживаемости рассады табака и томатов // Доклады ВАСХНИЛ. – М, 1950. – Вып.2. – С. 25.
6. Алехин, С.Н. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком (*Nicotiana tabacum* L.) / С.Н. Алехин, В.А. Саломатин, А.П. Исаев [и др.], / ВНИИТТИ. - Краснодар, 2011. – 42 с.
7. Губенко, Ф.П. Таблицы площадей листьев (группа третья) / Ф.П. Губенко. – Симферополь: Гос. изд-во Крымской АССР, 1936. – 45с.
8. Яковук, А.С. Биологические основы культуры табака на семена. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 231 с.
9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Верификация модели прогнозирования урожайности культур monica для черноземов Курской области

Матвеев С.^{1,2}, Пукальчик М.^{1*}, Никитин А.¹,
Трегубова П.^{1,3}, Оселедец И.^{1,2}

¹Центр по научным и инженерным вычислительным
технологиям для задач с большими массивами данных,
Сколковский институт науки и технологий,

²Институт вычислительной математики
имени Г.И. Марчука, РАН,

³Почвенный институт имени В.В. Докучаева, г. Москва

Проведена экспериментальная оценка и верификация зарубежного программного комплекса MONICA для моделирования отдельных культур четырехпольного нерегулярного севооборота в чернозёмной зоне Кшенского района Курской области для 2012-2017 гг. Полевая часть исследований выполнялась в 2016 году и включала оценку химических и физических почвенных показателей опытного поля на различных участках рельефа (плакор-склон-низина) в почвенном профиле (до 1м). Проведенная работа показала, что весьма ограниченного количества измеряемых показателей в 9 точках отбора проб достаточно для моделирования урожайности сахарной свеклы с применением MONICA: прогнозные величины урожайности для 2017 года более чем на 95% совпали с натурными данными. Однако следует отметить, что в случае других культур вариабельность между расчетными и архивными значениями урожайности достигала 50%. Уточнение математического описания "предустановленных" в программе культур к сортам, выращиваемым в Курской области может по видимому значительно улучшить прогноз.

Введение

Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур применяется агрономами всего мира и находит широкое практическое применение при планировании сельскохозяйственных циклов работ (Maharjan et al. 2018), селекции сельскохозяйственных культур (Cooper et al. 2016), оценке рисков влияния климатических изменений на показатели урожайности (Chu et al. 2018). Только для Европы было разработано более 7 моделей прогнозирования урожайности, различающихся не только подходом к моделированию процессов почва-климат-растение, но и вводными параметрами, а также набором сельскохозяйственных

культур «предустановленных» в пакет от разработчиков (Jin et al. 2018). Многочисленные исследования показывают, что существует высокая вариабельность расчетных значений даже в рамках предсказательной способности одной и той же модели в случае ее применения в различных природно-климатических и почвенных условиях (Rötter et al. 2012). В рамках данной работы исследовали применимость зарубежного программного комплекса MONICA для моделирования отдельных культур в черноземной зоне Кшенского района Курской области.

Материалы и методы

Объект исследования. В качестве пилотного объекта исследований было выбрано сельскохозяйственное поле, находящегося в ведомстве растениеводческого хозяйства, Курская обл., Советский р-н, пос. Кшеньский. Территория исследования относится к лесостепной зоне, западно-северо-западному району Среднерусской возвышенности (Афанасьева, 1966) и отмечается высоким агроклиматическим потенциалом. Отличается умеренным климатом, средней температурой января $-8,6^{\circ}\text{C}$, средней температурой июля $+19,3^{\circ}\text{C}$, суммой активных температур 2450°C (Щеглов, 1999; ЕГРППР, 2014).

Почвы представлены черноземами выщелоченными тяжело-суглинистыми со средним содержанием углерода до 3,5%, реакцией среды от слабокислой до нейтральной. Площадь тестового поля составляла 48 га, на нём реализуется нерегулярный четырехпольный севооборот: ячмень (2012) – озимая пшеница (2013) – сахарная свекла (2014) – соя (2015) – озимая пшеница (2016) – сахарная свёкла (2017).

Математическая модель урожайности сельскохозяйственных культур MONICA

«MONICA» – математическая модель с прямыми и обратными связями созданная для оценки отдельных факторов плодородия почв и прогнозирования урожайности ряда сельскохозяйственных культур в зависимости от климата, почв, вида культуры и техники их возделывания. Первоначально она была разработана и адаптирована в Германии (Nendel et al. 2011), однако успешно применяется и в ряде стран Восточной Европы и содержит несколько симуляционных блоков (рис. 1).

Вводные показатели для моделирования

Сезонный климатический сценарий на 2012-2017 гг был предоставлен по запросу авторов из Европейского центра прогноза погоды ECMWF (<https://www.ecmwf.int/>). Характеристики рельефа (уклоны) были восстановлены из карт цифровой модели рельефа,

построенных на основании съемки с БПЛА Geoscan. Оценка почвенных показателей включала в себя характеристику физических и химических свойств почв в 3 точках, расположенных на разных участках рельефа (плакор-склон-низина) в 3 повторностях. Были оценены плотность по профилю с шагом 20 см до 1 м, содержание общего углерода и азота с шагом 20 см до 1 м, запасов влаги и минеральных форм азота с шагом 20 см до 1 м в марте, мае, июле и октябре, гранулометрический состав в пахотном и подпахотном слое (0-30 см и 30-40 см). При отсутствии данных, необходимых для ввода в модель, сведения восстанавливались по ЕГРПРР.

MONICA [MOdel for Nitrogen and Carbon in Agro-ecosystems]



Рисунок 1. Симуляционные блоки математической модели MONICA (адапт. из Nendel et al. 2011)

Расчёты

Каждый разрез по итогам расчетов в MONICA генерировал единичное значение урожайности сельскохозяйственной культуры за указанный год. На основании единичных значений урожайности восстанавливали пространственную карту урожайности для тестового поля методом кригинга (Burgess, Webster, 1980). Ретроспективный анализ включал 2012-2017 годы, полный цикл севооборота, обработки и внесения удобрений (по данным КшеньАгро).

Критерий верификации модели

Критерием успешной верификации модели для тестируемых условий являлось количественное воспроизведение расчетных значений урожайности в сравнении с архивными данными, полученными от ООО «КшеньАгро».

Результаты и обсуждения

Результаты моделирования урожайности с\х культур в рамках климатических сценариев 2012-2017 гг, а также архивные значения урожайности для тестового поля приведены на рисунке 2. Согласно полученным данным наиболее точно была воспроизведена урожайность сахарной свеклы на 2017 год, а также урожайность сои для 2015 года. Высокая вариабельность показателей для ячменя и озимой пшеницы может быть обусловлена исходными параметрами, описывающими культуру в MONICA, и уточнение описания культур к сортам, выращиваемым в Курской области может значительно улучшить прогноз.

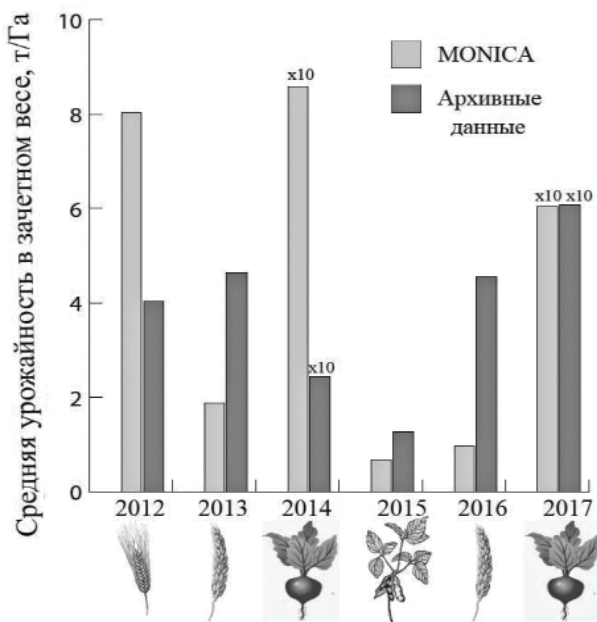


Рисунок 2. Расчётные и архивные данные по средней урожайности в зачетном весе (т/га) отдельных сельскохозяйственных культур для тестового поля

Список литературы

1. Афанасьева Е. А. Черноземы средне-русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 228 с.
 2. Алябина И. О. и др. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. – 2014. 728 стр.
 3. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием
- 226

естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 С.

4. Burgess, T.M., Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties: the semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* 31, 315–331.

5. Chu, M., Guzman, J., Villamil, M., 2018. A Modeling Framework to Evaluate the Impacts of Future Climate on Soil Organic Carbon Dynamics. *Journal of Environment Quality* 47, 596.

6. Cooper, M., Technow, F., Messina, C., Gho, C., Totir, L.R., 2016. Use of Crop Growth Models with Whole-Genome Prediction: Application to a Maize Multienvironment Trial. *Crop Science* 56, 2141.

7. Jin, X., Kumar, L., Li, Z., Feng, H., Xu, X., Yang, G., Wang, J., 2018. A review of data assimilation of remote sensing and crop models. *European Journal of Agronomy* 92, 141–152.

8. Maharjan, G.R., Prescher, A.-K., Nendel, C., Ewert, F., Mboh, C.M., Gaiser, T., Seidel, S.J., 2018. Approaches to model the impact of tillage implements on soil physical and nutrient properties in different agro-ecosystem models. *Soil and Tillage Research* 180, 210–221.

9. Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K.C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K.O., Wieland, R., 2011. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 222, 1614–1625.

10. Rötter, R.P., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M., 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research* 133, 23–36.

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ПОЧВЕННЫЕ АСПЕКТЫ
В АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Почвенно-агрохимические аспекты динамики обменной кислотности почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области

Панасин В.И., Рымаренко Д.А.

**ФГБУ «Центр агрохимической службы «Калининградский»,
г. Калининград**

Приводятся данные многолетних исследований изменения процента кислых почв. Установлены нормативные параметры изменения показателей обменной кислотности в естественных условиях, а также под влиянием внесения извести. Выявлены особенности динамики кислотности с учетом генетических свойств почв. Дан прогноз изменения кислотности на перспективу

Введение

Начиная с середины 70-х годов прошлого века научные исследования показывают, что природный процесс почвообразования усиливает свою направленность в сторону подкисления почвенной среды и отчуждения кальция из пахотного горизонта [1]. Это явление связано как с антропогенными факторами – возросшим техногенным выбросом в атмосферу соединений серы и азота [2], так и с проявившейся в последние полвека тенденцией к росту среднегодовой температуры и количества осадков в Калининградской области. Последнее увеличивает скорость элементарных почвообразовательных процессов и интенсифицирует промывной режим, что приводит к ускорению выноса оснований из почвенного профиля.

Целью исследований является анализ и прогнозирование динамики кислотно-основных свойств почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области в зависимости от применения средств химизации земледелия.

Объекты и методы

Объектами исследования явились почвы сельскохозяйственных угодий Калининградской области. Общая площадь сельскохозяйственных угодий в регионе за последние полвека менялась незначительно. За прошедший с организации Центра агрохимической службы период проведено 9 туров агрохимического обследования почв. В 1994 году заложено 16 площадок локального мониторинга плодородия почв, на которых отбор образцов и определение основных агрохимических показателей проводится ежегодно.

Почвенный покров Калининградской области сформировался на продуктах перемывания и переотложения исходно карбонатных ледниковых наносов. За послеледниковое время песчаные, супесчаные и легкосуглинистые породы были глубоко выщелочены, на средних и тяжелых суглинках распространены как выщелоченные, так и карбонатные породы. Голоценовые аллювиальные и древне аллювиальные отложения, как правило, не содержат карбонатов. Разнообразие по гранулометрическому и минералогическому составу материнских пород предопределило различную скорость почвообразовательных процессов, и как следствие, формирование весьма сложного и контрастного почвенного покрова территории.

В первой половине прошлого века были составлены картограммы нуждаемости почв Восточной Пруссии в известковании [3]. Наибольшая нуждаемость в известковании была установлена для конечноморенных ландшафтов западной части области. Наименьшей кислотностью характеризовались ландшафты моренной равнины и древнеозерной впадины в восточной части области. Промежуточное положение занимал озерно-ледниковый район в центральной части региона.

В период освоения Калининградской области в послевоенные годы (1945 – 1964) применение минеральных и органических удобрений существенно сократилось по сравнению с довоенными годами. Вынос оснований с урожаем и дренажным стоком привел к дальнейшему подкислению большинства почв агроландшафтов.

Результаты и обсуждение

С 1964 года прослеживается три периода, различающиеся интенсивностью изменения кислотности почв. Первый период охватывает промежуток времени с момента организации агрохимической службы до 1975 года. В это десятилетие сотрудниками Центра агрохимической службы с целью установления оптимальных доз внесения известковых мелиорантов на различных по типовой принадлежности, гранулометрическому составу, степени кислотности и содержанию органического вещества почвах было заложено множество краткосрочных и длительных стационарных опытов. Были установлены многие аспекты влияния извести на реакцию дерново-подзолистых почв, а также влияние извести на подвижность элементов питания в почвах.

На основании данных по произвесткованным площадям и по объемам внесения известковых материалов сотрудниками Центра агрохимической службы был рассчитан сдвиг рНКСl от одной тонны

известии в производственных условиях в зависимости от исходной величины рНКСl. На исходно сильнокислых почвах тонна известии снижала почвенную кислотность в среднем на 0,2 единицы рН; на среднекислых – на 0,15; на слабокислых – на 0,10 и на близких к нейтральным – на 0,06.

Приведенные значения смещения реакции среды являются усредненными. Практически смещение величины рН зависит от содержания органического вещества, гранулометрического состава почв и других факторов. Указанные значения сдвига рН справедливы для легкосуглинистых почв с содержанием гумуса 2,5 – 3%. Для среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почв уровень сдвига рН снижается на 17 – 20% и 21 – 25% соответственно, и наоборот, для супесчаных и песчаных почв уровень сдвига повышается на 18 – 23% и 24 – 26% соответственно. При повышенном содержании гумуса расход мелиорантов возрастает, так как гумусовые кислоты и их соли образуют достаточно емкую буферную систему. Нами было установлено, что известкование провоцирует перегруппировки и изменение группового и фракционного состава гумуса – снижение доли лабильного органического вещества и рост относительного содержания второй и третьей фракций [4].

Период с середины 70-х до начала 90-х годов прошлого столетия характеризовался наращиванием объемов известкования, практическим внедрением в сельскохозяйственное производство разработанных Центром агрохимической службы рекомендаций и методик. В первой половине 80-х годов были достигнуты максимальные объемы известкования при научно обоснованных дозах и сроках внесения мелиорантов. Рост объемов известкования и выход на научно обоснованные нормы применения известковых мелиорантов позволил с середины 1970-х годов добиться положительного баланса кальция в земледелии Калининградской области.

Достигнутые объемы известкования позволили ко второй половине восьмидесятых годов прошлого столетия значительно сократить долю кислых почв (таблица).

Однако известкованные почвы не находятся в равновесном состоянии и при прекращении антропогенного воздействия начинаются деградационные процессы. С начала девяностых годов работы по известкованию кислых почв практически прекратились, и с этого времени почвообразовательные процессы в большинстве почв сельскохозяйственных угодий проходили под влиянием лишь естественных факторов.

Процент кислых почв

Тур обследования	Годы	Процент кислых почв
1	1965 – 1969	62,4
2	1970 – 1975	62,9
3	1976 -1981	46,4
4	1982 – 1987	32,3
5	1988 – 1993	26,0
6	1994 – 1998	27,5
7	1999 - 2004	30,5
8	2005 – 2010	34,8
9	2011 - 2017	39,0

Совокупность естественных факторов почвообразования и направление почвообразовательных процессов обуславливают подкисление большинства почв агроэкосистем Калининградской области. На основании данных агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий, участков локального агроэкологического мониторинга и стационарных опытов нами установлена зависимость скорости подкисления дерново-подзолистых почв от их гранулометрического состава, содержания органического вещества, интенсивности сельскохозяйственного использования и степени увлажнения. Средняя многолетняя скорость подкисления дерново-подзолистых почв Калининградской области составляет 0,03 единицы рН в год. В супесчаных и легкосуглинистых полугидроморфных почвах, развитых на бескарбонатных материнских породах, темпы подкисления достигают 0,05 единиц рН в год. В суглинистых почвах скорость выщелачивания определяется наличием или отсутствием карбонатного горизонта, глубиной его залегания, а также содержанием органического вещества. Нами была установлена обратная зависимость скорости выщелачивания кальция от содержания гумуса [4]. В среднем темпы подкисления суглинистых дерново-подзолистых почв составляют 0,02 единиц рН в год.

Выводы

Если к пятому туру агрохимического обследования процент кислых почв сельскохозяйственных угодий за исключением районов, находящихся в пределах западных конечно-моренных холмистых возвышенностей, а также Куршской древнеаллювиальной равнины, был практически одинаков, то в последующие 25 лет различия существенно увеличились вследствие разной скорости эволюции почв. Согласно нашим расчетам, без принятия должных мер по увеличению объемов известкования к 2020 году процент кислых почв пре-

232

высит 40%, а к 2025 – составит несколько менее половины от общей площади сельскохозяйственных угодий, при этом большинство почв районов западных конечно-моренных возвышенностей и основно-моренной равнины перейдут в группу сильно- и среднекислых. В перспективе повышенная кислотность почв на значительной части территории региона станет основным фактором, резко снижающим окупаемость капиталовложений в земледелие и лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур, качество урожая и в конечном итоге эффективность сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Ч. 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
2. Панасин, В. И. Агрохимические основы известкования кислых почв Калининградской области / В. И. Панасин, В. Д. Слобожанинова. – Калининград: КГУ, 2003. – 144 с.
3. Церлинг, В. В. Из истории сельского хозяйства Калининградской области / В. В. Церлинг // Агрохимические работы в Калининградской области. – М.: Сельхозгиз, 1959. – С. 7 – 19.
4. Панасин, В.И. Гумус и плодородие почв Калининградской области / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко. – Калининград: КГУ, 2004. – 220 с.

Региональные особенности распространения фосфора в почвах Калининградской области

Рымаренко Д.А., Панасин В.И., Артемьев А.А., Вихман М.И.

ФГБУ «ЦАС «Калининградский», г. Калининград

Приводятся результаты многолетних исследований содержания валового и подвижного фосфора в почвах Калининградской области. Изучены закономерности распределения фосфора в профиле разных типов почв, рассчитаны коэффициенты почвенной дифференциации, установлены содержания фосфора в почвообразующих породах, дан прогноз содержания фосфора в почвах различных сельскохозяйственных Калининградской области.

Введение

В силу особенностей почвенно-климатических условий и древней земледельческой культуры особую актуальность представляют вопросы содержания и распределения подвижных форм фосфора в почвах агроландшафтов Калининградской области. Для изучения этих вопросов с момента организации агрохимической службы были проведены масштабные исследования, включающие девять туров агрохимического обследования почв всех видов сельскохозяйственных угодий, широкую сеть полевых опытов с различными культурами.

Объекты и методы

Объектом исследования являлись почвы сельскохозяйственных угодий региона. Исследования охватили все типы и разновидности почв, различающиеся по гранулометрическому составу, степени кислотности, содержанию гумуса и другим агрохимическим показателям. Исследовано свыше одного миллиона смешанных образцов. Для изучения распределения фосфора в почвенном профиле было заложено около 400 разрезов. Отбор образцов проводился согласно требованиям ГОСТ 28168-89, содержание подвижного фосфора определялось по Кирсанову. Остальные агрохимические показатели определялись по стандартным, принятым в агрохимической службе гостимированным методикам.

Результаты и обсуждение

Установлено, что содержание подвижного фосфора в почвах определяется главным образом гранулометрическим и минералогическим составом почвообразующих пород, а распределение элемента в почвенном профиле – направлением почвообразовательных про-

234

цессов. По содержанию валового фосфора все почвообразующие породы можно условно разделить на три группы. В первую группу входят отложения основной (донной) и конечной морен, отличающиеся относительно пониженным содержанием фосфора (0,04 - 0,05%). В эту же группу попадают озерно-ледниковые и древнеаллювиальные пески. Во вторую группу входят продукты переотложения ледниковыми водами тонкодисперсного материала морены. Они имеют повышенное содержание фосфатов (0,12 - 0,14%) вследствие высокой адсорбционной способности илистой фракции. Третья группа представлена органомными породами. Содержание фосфора в торфах (0,20±0,04%) в значительной степени зависит от ботанического состава, зольности и степени разложения.

Распределение фосфора в почвенном профиле определяется низкой подвижностью фосфатов в весьма широком диапазоне pH и Eh, а также сродством элемента к органическому веществу. При минерализации и гумификации детрита часть фосфора поглощается почвенной микрофлорой, часть переходит в минеральную форму (H_2PO_4^- или при высоких значениях pH HPO_4^{2-}), которая в кислой среде связывается с полуторными оксидами, а в нейтральной среде – с катионами кальция с образованием малорастворимых соединений. Определенный вклад в иммобилизацию неорганических фосфатов вносит физико-химическая адсорбция на поверхности положительно заряженных коллоидных частиц. Часть фосфора остается связанной с органическим веществом в форме гуминовых и фульвокислот, а также их гетерополярных и комплексно-гетерополярных солей. Вынос фосфатов за пределы почвенного профиля незначителен. Согласно нашим многолетним исследованиям, среднегодовой вынос фосфора из гумусово-аккумулятивных горизонтов почв агроэкосистем составляет 5 кг P_2O_5 с гектара.

Наблюдается отрицательная корреляция между валовым содержанием органического вещества и фосфора. Коэффициент биологического накопления валовых фосфатов составляет 0,66 – 0,93, при этом в почвах легкого гранулометрического состава он выше. Таким образом, основной статьей расхода фосфатов является отчуждение с урожаем. Миграция с нисходящими потоками почвенных растворов играет подчиненную роль, так как не обнаруживается максимум содержания P_2O_5 ни в подпахотном, ни в иллювиальном горизонтах. Коэффициент иллювиальности P_2O_5 и в пахотных, и в почвах под лесными биогеоценозами меньше единицы.

Почвы сенокосов и пастбищ занимают промежуточное положение. Максимальная концентрация валового P_2O_5 наблюдается в дернине, однако значения коэффициента биологического накопления ниже, чем в лесной подстилке. В горизонте A1 коэффициент биологического накопления варьирует в пределах 1,0 – 1,3. Таким образом, в почвах лугопастбищных угодий наблюдается биогенная аккумуляция фосфатов.

Распределение валового фосфора в профиле дерново-глеевых почв несколько отличается от дерново-подзолистых. Среднее значение коэффициента биологического накопления P_2O_5 в дерново-глеевых почвах составляет 0,83, коэффициента иллювиальности – 1,13. Таким образом, в среднем для дерново-глеевых почв характерно слабо выраженное элювиально-иллювиальное распределение фосфатов. Контрастность распределения усиливается в почвах, сформировавшихся на двучленных отложениях с облегченным по гранулометрическому составу выщелоченным кроющим наносом и тяжело-сулинистой или глинистой карбонатной подстилающей породой. В таких почвах неорганические фосфаты могут мигрировать в форме солей закисного железа и марганца до карбонатного барьера, где фиксируются в форме $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ или более основных фосфатов кальция. В сформировавшихся на литологически однородных породах дерново-глеевых почвах распределение валового P_2O_5 приближается к равномерному.

Распределение валовых фосфатов в профиле аллювиальных почв не подчиняется четким закономерностям вследствие наложения процессов гидрогенной аккумуляции и литологической неоднородности аллювиальных отложений. В осушаемых торфяных почвах наблюдается два максимума концентрации валового P_2O_5 – в верхнем, подвергающемся интенсивной минерализации горизонте и в подстилающей породе.

Средневзвешенное содержание подвижных фосфатов в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области на 01.01.2012 г. составляет 117 мг/кг. По видам сельскохозяйственных угодий максимальное содержание подвижного P_2O_5 отмечается на пашне – 133 мг/кг, минимальное – на сенокосах – 93 мг/кг. Обеспеченность подвижным P_2O_5 почв пастбищ в среднем несколько выше, чем сенокосов. Средневзвешенное содержание подвижного P_2O_5 составляет 102 мг/кг. Это объясняется с одной стороны большим объемом применения фосфорных удобрений, с другой стороны низкой миграционной способностью фосфатов.

Распределение подвижных фосфатов в профиле дерново-подзолистых окультуренных почв характеризуется обеднением профиля, особенно пахотных горизонтов. Снижение содержания подвижных фосфатов в гумусовых горизонтах окультуренных почв может быть вызвано активной иммобилизацией растениями и микроорганизмами [1].

В большинстве окультуренных дерново-подзолистых почв содержание подвижного P_2O_5 в подпахотном горизонте превышает его содержание в горизонте А1. Значения коэффициента биологического накопления подвижных фосфатов варьируют в пределах 0,52 – 0,76, при этом они возрастают с утяжелением гранулометрического состава. Отчетливо выраженный иллювиальный максимум содержания подвижных фосфатов прослеживается только в тяжелых почвах, среднее значение коэффициента иллювиальности составляет 1,25. Это придает особую актуальность разработке приемов с целью вовлечения во вторичный оборот запасов фосфора из подпахотного горизонта.

Распределение подвижных фосфатов в профиле дерново-глеевых окультуренных почв характеризуется четко выраженным минимумом в горизонте А1 и слабо выраженным максимумом в подгумусовом горизонте. Аллювиальные почвы характеризуются выраженной биогенной аккумуляцией подвижных фосфатов в горизонте А1 и постепенным снижением содержания P_2O_5 с глубиной. В осушаемых торфяных низинных почвах в органогенном слое максимальное содержание подвижных фосфатов наблюдается в интенсивно минерализующемся верхнем аэрируемом горизонте.

Территория региона характеризуется значительной неоднородностью по содержанию подвижного фосфора в пахотном (гумусово-аккумулятивном) горизонте почв агроэкосистем. Северо-западные районы Калининградской области отличаются несколько повышенным содержанием подвижных фосфатов вследствие особенностей литолого-минералогического состава почвообразующих пород. Относительно обогащены подвижным P_2O_5 почвы на территории Гусевской древнеозерной впадины, где преобладают почвы тяжелого гранулометрического состава, сформировавшиеся на карбонатных породах. Северо-восточная часть области отличается пониженным содержанием подвижного P_2O_5 . В южной части области содержание подвижных фосфатов убывает при движении с запада на восток.

Исследования показали, что за полувековой период в содержании подвижного P_2O_5 на территории Калининградской области прослеживается определенная закономерность. Динамика содержания подвиж-

ных фосфатов в почвах сельскохозяйственных угодий тесно коррелирует с уровнем применения фосфорсодержащих удобрений. Выделяется три периода: подъем, стабилизация и падение. В первый период (1965 - 1980 гг.) в среднем применялось 28 кг д.в./га, во второй период (1981 - 1991 гг.) – 52 кг д.в./га, в третий период (1992 - 2016 гг.) – 3 кг д.в./га.

При сохранении современного уровня применения средств химизации земледелия в ближайшие десятилетия темпы снижения содержания подвижных фосфатов будут ускоряться. К 2030 году по нашим прогнозам среднее содержание подвижных фосфатов в почвах сельскохозяйственных угодий составит 100 - 103 мг/кг, при этом темпы снижения на пашне будут выше, чем на сенокосах и пастбищах.

В современных экономических условиях в составе мероприятий по регулированию фосфатного режима почв сельскохозяйственных угодий целесообразно проведение мероприятий по стимулированию биологической активности почвы. Среди них – внесение органических удобрений, известкование кислых почв, возделывание сидеральных культур, растворяющих почвенные фосфаты, широкое применение многолетних трав в севооборотах [2]. В условиях Калининградской области актуально внедрение предложенной нами технологии реутилизации элементов минерального питания из подпахотного горизонта.

Литература

1. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп, 2003. – 1028 с.
2. Чумаченко, И.Н. Фосфор и воспроизводство плодородия почв / И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница // Агрехимический вестник. – 2001. - № 1. – С. 28 – 31.

Изучение пространственной неоднородности и сезонной динамики почвенных свойств для оценки агрохимических и почвенно-экологических рисков выращивания сои культурной (*Glycine max*) на типичных чернозёмах в Краснодарском крае

Розов С.Ю., Кутузова Н.Д., Большева Т.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра агрохимии и биохимии растений

Оценка влияния почвенно-экологических условий на урожайность сои проведена путем сопоставления неоднородностей пространственных и динамических характеристик почв с динамикой фенологических признаков развития сои по основным фазам вегетации и с итоговыми параметрами урожайности на 16 ключевых участках. Показано, что разнообразие почвенно-экологических условий производства сои в исследуемом регионе во многом определяют пятнистость и неоднородность условий, влияющих на урожай – пятнистость (контагиозность) распространения сорной растительности, неоднородность распространения в пределах отдельных полей макро- и микроэлементов минерального питания растений, разнообразие условий увлажнения, плотности и структурных особенностей почв. Получена вероятностная оценка уровней почвенно-экологических и агрохимических рисков при возделывании сои на чернозёмах Краснодарского края.

Важнейшими факторами, определяющими урожайность сельскохозяйственных культур, является пространственная неоднородность почвенных свойств и их сезонная динамика (Фридланд, Столбовой, 1973, Дмитриев, 1983, Перепелица, Раковский, 1990, Шеин, Салимгареева, 1997, Самсонова, 1999, Фрид, 2002). Комплексное влияние пространственной неоднородности и сезонной динамики почвенных свойств черноземов на урожайность на уровне отдельного производственного поля изучено недостаточно, и приобретает особое звучание в современный период активного внедрения в степной зоне новых высокопродуктивных культур, предъявляющих к свойствам почв отличные от зерновых культур требования.

В работе представлены результаты изучения пространственной неоднородности и сезонной динамики основных почвенных и агрохимических свойств предкавказских черноземов на уровне отдельного производственного поля, а также влияния неоднородности

почвенных свойств, на рост и урожайность сои (*Glycine max*). Получена вероятностная оценка уровней почвенно-экологических и агрохимических рисков при возделывании сои для региона.

Исследования проводились на четырех тестовых полях в Кореновском районе Краснодарского края (~400 га), где были выбраны 16 ключевых участков (КУ) таким образом, чтобы как можно полнее охарактеризовать разнообразие почвенно-ландшафтных условий каждого поля: на водоразделах, на склонах, в пределах открытых и замкнутых депрессий. Кроме того, проводились исследования почв по точкам опробования по регулярной сетке, заложенной с частотой, зависящей от неоднородностей почвенно-ландшафтных условий конкретного поля. Во всех точках проводили детальное описание почвенного профиля, в отобранных образцах почв определяли влажность, плотность, гумус, рН водной вытяжки, содержание элементов минерального питания растений в трех горизонтах – пахотном Ap, подпахотном уплотненном Apd, гумусовом A.

На ключевых участках также проводили исследования динамики почвенно-агрохимических свойств в течение вегетационного сезона и фенологические наблюдения за развитием сои по ключевым фазам развития. Наблюдения проводили по следующим биометрическим показателям: количество, высота и вес растений, количество боковых побегов, количество и вес листьев, площадь листовой поверхности, количество и вес бобов и зёрен, густота и глубина распространения корневой системы, корневые клубеньки. Урожайность определялась расчетно-аналитическими методами.

Агрохимические лабораторные исследования выполнены стандартными методами.

Преобладающие почвы исследуемых объектов представлены чернозёмами типичными обычными, карбонатными и глубоко вскипающими сверхмощными, местами – слабо эродированными и слабодифференцированными. Отмечена частая встречаемость луговато-черноземных почв. Детальные картографические исследования почвенного покрова полей показали, что неоднородность почвенного покрова высока. Многие контуры представлены сложными двух- и трехчленными комбинациями, выделяющимися в масштабе 1:10000, что говорит о внутренней неоднородности выделенных почвенных контуров.

Для каждого параметра были составлены картограммы распределения его значений по территории отдельных производственных полей и проведен анализ соответствия пространственного распределения этих параметров как между собой, так и с контурами почвенной карты.

Мощность гумусового горизонта А исследованных чернозёмов составляет около 95 см при варьировании от 72 до 110 см. Повсеместно отмечается наличие уплотненного горизонта Ap_d с признаками слитизации с варьированием его мощности от 4 до 17 см. Почвы исследованных полей в целом отличаются относительно высокими величинами плотности - от 1,3 до 1,5 г/см³. Подпахотный «уплотненный» горизонт в абсолютных величинах имеет в целом близкие значения плотности. Гумусовый горизонт А имеет средние значения плотности от 1,25 до 1,4 г/см³.

Структура горизонта Ар для большинства точек обследования глыбистая, очень прочная, с трудом разделяется на призмовидно-комковатые отдельности, пористость крайне низкая, горизонт разбит вертикальными трещинами на призмовидные блоки. Структура горизонта Ap_d – глыбисто-комковато-ореховатая с хорошо выраженными ребрами структурных отдельностей, тонкой горизонтальной трещиноватостью.

Условия влагообеспеченности сои во многом связаны напрямую с рельефом. Почвы дренируемых понижений отличаются повышенным увлажнением в начале вегетационного периода, и пониженным – в его конце. Почвы слабо дренированных понижений сохраняют повышенное увлажнение по сравнению с другими участками в течение всего вегетационного сезона. Причиной такого распределения влаги, вероятнее всего, служат уплотненные почвенные горизонты, на границе которых формируется латеральный сток и застаивается влага в периоды ливней или снеготаяния.

Отмечено, что в засушливый период участки с пониженной влажностью пахотных горизонтов на полях хорошо совпадают по конфигурации с участками, имеющими наибольшую плотность пахотных и подпахотных горизонтов.

Исследование пространственного распределения значений рН водной вытяжки пахотных горизонтов в целом по полям показали, что величина рН варьирует в небольшом интервале от 6,8 до 7,7 при некотором увеличении в подпахотных горизонтах до 7,5 - 8,2. Указанные величины обусловлены высоким содержанием карбонатов кальция и создают условия высокой степени насыщенности ППК преимущественно кальцием.

Содержание гумуса в пахотных горизонтах варьирует в интервалах от 2,6 до 3,7 % при среднем значении в 3,04%.

В целом почвы исследованных полей в достаточной степени обеспечены доступными формами фосфора и подвижного калия

(содержание характеризуется как среднее и повышенное). Не было установлено достоверной связи между пространственным варьированием содержания макроэлементов минерального питания растений и вариабельностью урожайности сои. Результаты визуальных наблюдений за ростом сои на тестовых полях не обнаружили признаков дефицита ни для одного из исследуемых микроэлементов минерального питания. Наблюдения за динамикой доступных форм фосфора, обменного калия, гумуса и рН показали, что сезонные изменения указанных параметров сопоставимы с их пространственной вариабельностью.

Исследования пространственного распределения элементов минерального питания растений показали, что на изучаемых тестовых полях существенных зависимостей урожайности сои от агрохимического состояния почв нет, что позволило рассматривать данные показатели как фоновые для оценки влияния неоднородностей распределения остальных исследуемых почвенных свойств на урожайность сои.

Урожайность сои на тестовых полях складывается из разных параметров, распределение которых по полям и по отдельным ключевым участкам сильно различается, так же, как и различаются параметры почвенно-экологического и агрохимического состояния. Вместе с тем, частные параметры урожайности редко соответствуют друг другу, проявляя в ряде случаев признаки синергизма, неравномерности и компенсаторных свойств.

Детальный анализ сопряженного изменения отдельных параметров (составляющих) урожайности сои и отдельных почвенно-экологических и агротехнологических показателей позволил определить причины снижения урожайности сои, связанные с разнообразием почвенных условий. Пятнистость и неоднородность почвенных условий во многом определяют пятнистость и неоднородность ключевых факторов, влияющих на урожай – контагиозность распространения сорной растительности, неоднородность распространения макро- и микроэлементов минерального питания растений, разнообразие условий увлажнения, плотности и структурных особенностей почв, и др.

Неоднородность почвенных свойств оказывает существенное и неравнозначное влияние на урожайность сои. Изучение пространственной неоднородности и динамики почвенных и агрохимических свойств черноземов позволило установить, что из всей совокупности исследованных почвенных и агрохимических свойств

главными факторами, определяющими риски недополучения урожая сои, являются условия увлажнения корнеобитаемой толщи, связанные с рельефом, и наличие внутрипочвенных уплотненных слитых горизонтов. Агрохимические риски на фоне лимитирующего влияния указанных почвенных условий не являются определяющими, однако могут приобрести первостепенное значение в случае оптимизации иных факторов.

Литература

1. Дмитриев Е.А. Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв: Автореф. дис. д-ра биол.наук. М.: Изд-во МГУ, 1983, 51 с.
2. Куст Г.С., Розов С.Ю. Кутузова Н.Д. Агрогенная деградация черноземов как причина развития почвенной засухи, снижающей продуктивность сельскохозяйственных культур// Аридные экосистемы. 2010, том 16, № 1(41) с.15-26.
3. Розов С.Ю, Куст Г.С. Кутузова Н.Д. Почвенно-экологические аспекты выращивания сои на черноземах типичных Краснодарского края. //Русский чернозем// Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции «Русский чернозём – 2008» - М.: Русский дом, 2009 с.179-191.
4. Перепелица В. М., Раковский В. Д. Пространственная пестрота содержания гумуса в почве - основная причина его высокой сезонной изменчивости // Агрохимия, 1990, № 9, с. 87-94.
5. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриев Е.А. Структуры пространственной вариабельности агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы. // Почвоведение, 1999, № И. 1359-1366.
6. Шеин Е.В., Салимгареева О.А. Пространственная вариабельность физических свойств и водного режима чернозема типичного. // Почвоведение, 1997, № 4, 484-492.
7. Фрид А.С. Пространственное варьирование временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М., 2002, 80 с.
8. Фридланд В. М., Столбовой В.С. Опыт изучения пространственного варьирования некоторых свойств черноземов, развитых под лесом в зоне лесостепи (на примере лесного массива «Соловьятник» ЦЧЗ им, Алехина) // СПП и методы ее изучения, М., 1973, с. 189-194.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Романенков В.А., Егоров В.С.</i> Смена парадигм в развитии агрохимии и их отражение в трудах В.Г. Минеева	8
<i>Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности, создании качественных, в том числе функциональных, продуктов питания</i>	13
<i>Сычёв В.Г., Ефремов Е.Н.</i> Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности	14
<i>Егоров В.С., Назарова Л.К.</i> Состояние и баланс свинца и кадмия в системе почва-удобрений-растение при длительном применении агрохимических средств	22
<i>Лукин С.М.</i> Проблема биологизации земледелия в Нечернозёмной зоне России (состояние и перспективы исследований)	26
<i>Кудяров В.Н.</i> Современное состояние баланса гумуса и питательных веществ в земледелии России	31
<i>Стулин А.Ф.</i> Продуктивность и качество культур севооборота при длительном применении удобрений в условиях стационарных опытов ..	38
<i>Пашкевич Е.Б., Пряхин Ю.Д., Кубарев Е.Н.</i> Влияние фоллиарной обработки наночастицами серебра на качество клубней картофеля (<i>Solanum tuberosum L.</i>)	43
<i>Большеева Т.Н., Касатиков В.С., Абакар Абдулай Умар.</i> Оценка рисков возделывания зерновых культур на почвах с полиметаллическим загрязнением	49
<i>Королев П.С., Кирюшина А.П., Карпухин М.М.</i> Эффект селенита натрия на развитие проростков семян овса на разных типах почв	53
<i>Леоничева Е.В.</i> Влияние некорневых подкормок на минеральный состав плодов яблони и водный режим деревьев	57
<i>Белозёров Д.А.</i> Влияние различных систем удобрения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве	62
<i>Убугунов Л.Л., Энхтуяа Б., Меркушева М.Г.</i> Экологическая оценка применения фосфоритов на каштановых почвах	68
<i>Соболева О.А.</i> Анализ возможных путей повышения коэффициента эффективности минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры	75

Шабает В.П., Бочарникова Е.А. Применение ростстимулирующей ризобактерии для повышения устойчивости растений к токсическому действию кадмия при загрязнении почвы тяжёлым металлом 80

Оценка состояния природно-ресурсного потенциала агроценозов, продуктивности растений, эффективного управления биохимическими и микробиологическими процессами. 85

Сысо А.И. Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку. 86

Егорова Е.В. Изучение ферментативной активности почв в длительных опытах с применением агрохимических средств. 90

Столяров М.Е. Содержание обменных форм калия в почве садового агроценоза яблони при почвенном и фолиарном внесении минеральных удобрений. 94

Федосеева Е.В., Королев П.С., Терехова В.А. Информативность биомассы как микроиндикационного параметра при некоторых видах техногенных воздействий. 99

Субботина М.Г. Изменение биологических свойств залежной дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Среднего Предуралья. 102

Арзамазова А.В., Кинжаев Р.Р., Гальцова А.Д, Хрептугова А.Н. Влияние нефтезагрязнения на продуктивность яровой пшеницы на чернозёмах. 105

Воронина Л.П., Морачевская Е.В. Роль природных соединений в агрохимической практике 108

Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Распределение состава аминокислот в полугидроморфных почвах (как отражение биологической активности) 115

Зубкова В.М., Белозубова Н.Ю., Горбунова В.А. Влияние уровней загрязнения почвы цинком и свинцом на продуктивность и динамику накопления сухой массы растениями картофеля 128

Роева Т.А. Динамика и трансформация доступных форм азота в почве садовых агроценозов под влиянием минеральных удобрений 133

Тулина А.С., Налиухин А.Н. Минерализация органического вещества и секвестрация углерода в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве полевого опыта с удобрениями 138

Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Калийное состояние каштановых почв в зависимости от длительности орошения и возрастающих доз калийных удобрений под картофелем 143

Баева Ю.И. Закономерности накопления углерода залежными землями юга Московской области	149
Кольцова О.М., Коровина А.Г. Природно-ресурсный потенциал чернозёма выщелоченного и его рациональное использование	152
Борисов В.Ф. Влияние длительного применения удобрений на состояние цинка в почве	157
Новые системы земледелия (точное, органическое, экологическое, «умное») и роль в них агрохимии.	159
Есаулко А.Н., Лошаков А.В., Сигида М.С. Характеристика земельного фонда ставропольского края и внедрение элементов умного сельского хозяйства	160
Крючков А.И., Егоров В.С., Госсе Д.Д. Действие и последствие минеральных удобрений и диатомита на рост и развитие газонных трав при загрязнении почв тяжелыми металлами	164
Васильева М.С. Зависимость плодородия почвы и урожайности овса от объема внесения подстилочного навоза и минеральных удобрений	167
Солодухин А.В., Виноградова С.Б., Муравьева О.А. Пути обеспечения почвы фосфором и калием при ведении органической системы земледелия	171
Павлов К.В. Локализация калийных удобрений в почве как регулятор динамики минерального питания растений.	176
Ландшафтная агрохимия, устойчивое функционирование агроландшафтов, биогеохимия и радиоэкология	179
Алферов А.А. Продуктивность яровой пшеницы и устойчивость агроэкосистемы при внесении удобрений и микробных биопрепаратов . 180	
Боровик Р.А., Большева Т.Н., Скворцов Н.Д. Изучение динамики соотношения железа и марганца в листьях растений сирени (<i>Syringa vulgaris</i> L.) при многократной фоллиарной обработке раствором сульфата марганца	189
Хамитова С.М., Авдеев Ю.М., Снетилова В.С. Оценка токсичности городских почв Вологодской области.	196
Меркушева М.Г., Бадмаева Н.К., Болонева Л.Н., Лаврентьева И.Н. Биологическая продуктивность леймусовых сообществ (<i>Leymus Chinesis</i> (Trin.) Tzvel.) и ёмкость круговорота макро- и микроэлементов в системе почва – растение.	200

Цифровизация сельскохозяйственного производства, моделирование продукционных и почвенных процессов в системе «почва-технология- удобрение-средства защиты растений-погодные условия	206
<i>Черненко В.Г.</i> Методологические подходы к разработке приёмов управления и моделей плодородия почв для разных уровней урожайности культур. . Плотникова Т.В., Сидорова Н.В.	
<i>Дорофеева Т.С.</i> Прогнозирование урожайности ярового ячменя на основе ГИС-технологий	212
<i>Ильюшенко И.В.</i> Моделирование продуктивности сахарной свёклы в зависимости от агрохимических свойств черноземов при примене- нии азотных удобрений	214
<i>Плотникова Т.В., Сидорова Н.В.</i> Эффективность применения со- временного комплексного удобрения Плантафол при выращивании табака	218
<i>Матвеев С., Пукальчик М., Никитин А., Трегубова П., Оселедец И.</i> Верификация модели прогнозирования урожайности культур MONI- СА для чернозёмов Курской области.	223
Географические и почвенные аспекты в агрохимических исследованиях	228
<i>Панасин В.И., Рымаренко Д.А.</i> Почвенно-агрохимические аспекты динамики обменной кислотности почв сельскохозяйственных угодий калининградской области	229
<i>Рымаренко Д.А., Панасин В.И., Артемьев А.А., Вихман М.И.</i> Региональные особенности распространения фосфора в почвах Калининградской области.	234
<i>Розов С.Ю., Кутузова Н.Д., Большева Т.Н.</i> Изучение пространствен- ной неоднородности и сезонной динамики почвенных свойств для оценки агрохимических и почвенно-экологических рисков выращивания сои культурной (<i>Glycine max</i>) на типичных чернозёмах в Краснодарском крае	239
Оглавление	244