

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 2(63)
Июль–декабрь 2019 г.**

Минск
2019

УДК 631.4+631.8(476)
ББК 40.4+40.3(Бел)

Учредитель: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие
«Институт почвоведения и агрохимии»

Свидетельство № 721 от 6 октября 2009 г.
Министерства информации Республики Беларусь

Главный редактор *В. В. ЛАГА*

Редакционная коллегия: М. В. РАК (зам. главного редактора)
Н. Н. ЦЫБУЛЬКО (зам. главного редактора)
Н. Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Т. Н. АЗАРЕНКО, С. А. БАЛЮК, Н. Н. БАМБАЛОВ, И. М. БОГДЕВИЧ,
И. Р. ВИЛЬДФЛУШ, С. А. КАСЬЯНЧИК, Н. В. КЛЕБАНОВИЧ,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, Н. Н. СЕМЕНЕНКО, Т. М. СЕРАЯ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(63)

Июль–декабрь 2019 г.

Основан в 1961 г. как сборник научных трудов «Почвоведение и агрохимия»,
с 2004 г. преобразован в периодическое издание – научный журнал
«Почвоведение и агрохимия»

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 62
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02. E-mail brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редакторы *Т. Н. Самосюк, Ю. Б. Фельдшерова*
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 20.12.2019. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 13.32. Уч.-изд. л. 10,18. Тираж 100 экз. Заказ 506.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3.03.2014. Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Лапа В. В., Матыченков Д. В., Азаренок Т. Н.** Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова 7
- Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В., Дыдышко С. В.** Оценка почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель Беларуси 15
- Цыбулько Н. Н., Волович П. И., Устинова А. М., Касьянчик С. А., Цырибко В. Б.** Современное состояние полезащитных насаждений в агроландшафтах Беларуси 24
- Цырыбка В. Б., Усцінава Г. М., Міцькова А. А., Кас'янчык С. А., Радзюк Г. Э., Юхнавец А. В., Лагачоў І. А.** Вынікі маніторынгу снежнага покрыва схілавых сельскагаспадарчых зямель у ранневясенні перыяд 38
- Уваренко Е. Ю.** Влияние плотности сложения черноземной почвы на минеральное питание различных по интенсивности сортов ячменя ярового 46

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Лапа В. В., Семененко Н. Н., Мезенцева Е. Г., Ивахненко Н. Н., Грачева А. А.** Длительность последствия фосфорных и калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы 56
- Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Ломонос О. Л.** Изменение обеспеченности фосфором пахотных и луговых почв Беларуси 68
- Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Касьяненко И. И.** Влияние регулярного внесения жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на показатели гумусового состояния дерново-подзолистых почв 79
- Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Касьянчик С. А., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.** Влияние разных систем удобрения на агроэкономическую эффективность возделывания кукурузы на зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве 90
- Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Исаева О. И., Некрасова И. Н., Голоскок Е. Н., Миронова Е. Н.** Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 102

Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Исаева О. И., Некрасова И. Н., Голоскок Е. Н., Миронова Е. Н. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве	114
Рак М. В., Титова С. А., Иванова Н. С., Гук Л. Н., Артюх Ю. А. Агрономическая и экономическая эффективность микроудобрений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве	125
Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Цыбулько Н. Н., Юзефович Е. К., Устинова А. М., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Эффективность микобактериальной композиции на посевах ячменя ярового и ржи озимой на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных суглинках	135
Вильдфлуш И. Р., Малашевская О. В. Эффективность применения макро-, микроэлементов, регулятора роста и ризобияльного инокулянта при возделывании полевого гороха	148
Рефераты	158
Правила для авторов	164

CONTENTS
1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

- Lapa V. V., Matychenkov D. V., Azarenok T. N.** Information system for dynamics accounting and forecasting of soil cover properties 7
- Shibut L. I., Azarenok T. N., Matychenkova O. V., Shul'gina S. V., Dydyshka S. V.** Modern assessment of the soil-resource potential of arable land of agricultural organizations in Belarus..... 15
- Tsybulka M. M., Valovich P. I., Ustsinava H. M., Kasyanchik S. A., Tsyrybka V. B.** Current state of shelterbelts in the agricultural landscapes of Belarus..... 24
- Tsyrybka V. B., Ustsinava H. M., Mitskova A. A., Kasyanchik S. A., Radzyuk H. E., Yukhnovets A. V., Lahachou I. A.** The results of monitoring the snow cover of sloping agricultural lands in the early spring 38
- Uvarenko E. Ya.** Influence of bulk density of chernozem soil on mineral nutrition by different sorts of spring barley..... 46

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

- Lapa V. V., Semenenko N. N., Mezentseva E. G., Ivakhnenko N. N., Hracheva A. A.** Duration of aftereffect of phosphoric and potash fertilizers on crop productivity and sod-podzolic sandy loam soil's fertility..... 56
- Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Stanilevich I. S., Lomonos O. L.** Dynamics of phosphorous supply of arable soils and grassland in Belarus 68
- Bogatyrova E. N., Seraya T. M., Biryukova O. M., Kasyanenko I. I.** The influence of regular introduction of liquid manure of cattle and pig manure effluents on indicators of humus condition of sod-podzolic soils..... 79
- Seraya T. M., Bogatyrova E. N., Kasyanchik S. A., Kirdun T. M., Belyavskaya Y. A., Torchilo M. M.** the influence of different fertilizer systems on the agro-economic efficiency of cultivation of corn for grain on sod-podzolic sandy loam soil 90
- Rak M. V., Titova S. A., Ivanova N. S., Hooke L. N., Artyukh Yu. A.** Agronomic and economic efficiency of micronutrient fertilizers in the cultivation of winter wheat on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil 102
- Pirahouskaya G. V., Khmelevskij S. S., Soroko V. I., Isaeva O. I., Nekrasova I. N., Goloskok E. N., Mironova E. N.** Effect of sulfur-containing fertilizers on productivity and quality of buckwheat and potato tubers on sod-podsolic light loamy soil..... 114

Pirahouskaya G. V., Soroko V. I., Khmelevskij S. S., Isaeva O. I., Nekrasova I. N., Goloskok E. N., Mironova E. N. Effect of sulfur-containing fertilizers on productivity and quality of winter and spring rape seeds on sod-podzolic loamy sand soil	125
Mikhailouskaya N. A., Viotka D. V., Tsybulko N. N., Yuzefovitch E. K., Ustinova A. M., Barashenko T. B., Dyusova S. V. Efficiency of microbial composition treatment on spring barley and winter rye plants growing on eroded sod-podzolic soils on loesslike loam.....	135
Vildflush I. R., Malashevskaya O. V. The efficacy of macro-, micro-elements, growth regulator and rhizobial inoculant in the cultivation of field peas	148
Summaries	158
Instructions for authors.....	164

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.48

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ДИНАМИКИ И ПРОГНОЗА СВОЙСТВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азаренок

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время системы поддержки принятия решений (СППР) в управлении сельскохозяйственным производством в условиях дифференцированной тактики и стратегии развития экономически выгодного, социально приемлемого и экологически допустимого использования почвенных ресурсов нашей страны необходимы для объективного и своевременного обеспечения органов управления информацией об их состоянии, что в современных условиях является приоритетом для продвижения прикладных исследований и инновационных проектов по внедрению достижений науки и техники в практику ведения сельскохозяйственного производства. Применение цифровых технологий значительно расширяет возможности объективной оценки и разработки рекомендаций по повышению производительной способности почвенного покрова республики. В этом отношении в настоящее время востребованы также данные о его пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур, биологических особенностей развития растений, их требованиях к минеральному питанию, о разработанных системах удобрения и наиболее экологически и экономически выгодных полевых севооборотах. Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова соединяет в себе базы данных характеристик почв республики и базы знаний. База знаний – совокупность знаний, относящихся к некоторой предметной области и формально представленных таким образом, чтобы на их основе можно было осуществлять рассуждения. Это особого рода база данных, разработанная для оперирования знаниями (метаданными). Она содержит структурированную информацию, охватывающую некоторую область знаний для использования программным обеспечением (или человеком) с конкретной целью. Такие базы содержат в себе не только фактическую информацию, но и правила вывода, допускающие автоматические умозаключения о вновь вводимых фактах (данных) и, как следствие, осмысленную обработку информации [1].

Для создания разрабатываемой системы в республике имеются все объективные предпосылки:

- в РУП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерних подразделениях создается информационный слой «Почвы» в Земельной Информационной Сис-

теме (ЗИС), который содержит крупномасштабные цифровые почвенные карты отдельных землепользователей и на данный момент является отраслевым стандартом по почвенному картографированию в Беларуси;

- функционирует Государственная агрохимическая служба, на которую были возложены задачи по крупномасштабному агрохимическому обследованию почв с периодичностью один раз в 4–5 лет;
- накоплен огромный объем описательной, аналитической, статистической, картографической информации, разносторонне характеризующей компонентный состав почвенного покрова как в масштабе республики, так и в различных административных или природно-хозяйственных регионах;
- в настоящее время в Беларуси проведено 4 тура почвенного и 12 туров агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель.

Особенностью развития современного земледелия является то, что наращивание производства продукции растениеводства приходится осуществлять в условиях ограниченности ресурсов. В данном случае особенно важно максимально задействовать малозатратные нематериальные факторы. К числу таких факторов, являющихся важнейшим резервом повышения продуктивности полей, относится грамотное ведение севооборотов и оптимизации структуры посевных площадей. Основной задачей оптимизации структуры посевных площадей является обеспечение экономического эффекта за счет получения наибольшего количества продукции при наименьших затратах, что означает максимальное использование существующего плодородия почвенного покрова, его актуального состояния и свойств его отдельных компонентов. Причем сделать это необходимо на различных уровнях внутри самого хозяйства: элементарный участок, рабочий участок, севооборот, хозяйство в целом [2].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явилась информация о почвах СПК «Авангард» Осиповичского района Могилевской области, по материалам корректировки 1995 и 2006 гг. по типовой принадлежности, степени гидроморфизма, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород, характеру строения генетического профиля, и цифровая почвенная карта хозяйства, а также материалы агрохимического обследования за 11, 12 и 13 туры по данному хозяйству, включая карты элементарных и рабочих участков. Объектом исследований также послужили возделываемые сельскохозяйственные культуры, занимающие основную долю в структуре посевных площадей республики и их требования к почвенным условиям, которые определяют пригодность почв. Таким образом, объектом исследований является почвенный покров сельскохозяйственных предприятий с учетом его использования в сельскохозяйственном производстве. Предмет исследований – пригодность почв элементарных участков для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур, пригодность элементарных и рабочих участков для рекомендованных севооборотов, а также взаимосвязь производительной способности почв элементарных участков и воздействия на них различных агротехнологических приемов.

Разрабатываемая система является как информационной базой, так и статистическим инструментом обобщения и изучения почв и почвенного покрова республики на различных уровнях генерализации сведений о свойствах отдельных компонентов почвенного покрова Беларуси [3, 4].

Основные методы, использованные для создания информационной системы учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова: картографический, аналитический, статистические, экспертных оценок, системного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наступает такой период развития почвенной науки применительно к растениеводству, когда одного сбора и обобщения информации о состоянии почвенного покрова становится недостаточно. И, наряду с необходимостью использования всей имеющейся информации о свойствах почв, характере их антропогенной и пространственно-временной трансформации, становятся востребованы данные об их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур, о биологических особенностях развития растений и их требованиях к минеральному питанию, о разработанных системах удобрения и наиболее экологически и экономически выгодных полевых севооборотах. Соединить в себе базу данных количественных характеристик почвенного покрова республики и базу знаний (накопленного опыта по оптимизации условий возделывания требуемых сельскохозяйственных культур) позволяют системы поддержки принятия решений (СППР). Отличительной особенностью создаваемой информационной системы от существующих исследований по оптимизации аграрного землепользования с применением ГИС-технологий является четкая экологическая, экономическая и практическая ориентированность, современная административно-территориальная основа.

В республике, согласно данным 12-го тура агрохимических обследований, существует большой потенциал высокоплодородных почв [5]. Так, в Беларуси насчитывается 40,1 % пахотных почв, входящих в V, VI и VII группы кислотности. Около 25,6 % пахотных почв содержат более 251 мг/кг почвы подвижного фосфора, 32,2 % пахотных почв содержат более 301 мг/кг почвы подвижного калия. Все эти почвы обладают высоким потенциальным плодородием и могут обеспечивать стабильные и высокие урожаи сельскохозяйственных культур в различных, в том числе неблагоприятных по уровню температур и осадков, климатических условиях. Однако наиболее высокоплодородными почвами будут именно те, в которых все основные агрохимические показатели будут высокими. Существует большой процент пахотных почв, в которых один или несколько показателей не достигают своих оптимальных значений, из-за чего итоговая пригодность таких почв для возделывания основных сельскохозяйственных культур снижается. Выявить это может разрабатываемая информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова. Данная система также может использоваться в сельскохозяйственном производстве в условиях дефицита высококлассных специалистов аграрного профиля. Она учитывает как объективное состояние почвенного покрова, так и весь накопленный опыт по изучению пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом их чередования в севообороте, а также данные по применению удобрений в целях сохранения и увеличения плодородия почв.

Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова позволяет создавать различные модели прогнозирования возможных и запланированных показателей достижения определенного уровня пригодности почв. Прогнозирование – установление пригодности почв элементарного участка для возделывания как некоторых сельскохозяйственных культур, так и определенных

севооборотов, оно осуществляется согласно имеющимся или предполагаемым уровням агротехнологического воздействия на почву (применяемые системы удобрений, мелиорация, культуртехнические работы и т.д.). Планирование является установлением необходимого агротехнологического воздействия на почву для достижения заданной пригодности почв элементарного участка для возделывания конкретной сельскохозяйственной культуры или достижения заданной урожайности сельскохозяйственной культуры.

Используя данные, полученные различными исследователями и отраженные в многочисленных работах по изменению агрохимических характеристик почв различного генезиса и гранулометрического состава, рекомендации, справочники и нормативные материалы, вошедшие в базу знаний разрабатываемой информационной системы учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований, становится возможным составлять как прогнозные, так и планируемые модели достижения определенного уровня пригодности почв участка.

Одна из возможных моделей предусматривает внесение фосфорных и калийных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижных форм на 10 мг/кг почвы согласно «Справочнику нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений» [6]. Так, для данных почв и исходного в них содержания фосфора и калия дозы внесения фосфора варьируют от 55 до 59 кг/га, а калия – в пределах 58–83 кг/га при планируемой урожайности порядка 4 т/га (табл. 1). Согласно этой информации, были получены данные о содержании фосфора и калия через 1 год, через 5 лет и 10 лет работы модели. Эта модель является прогнозной, то есть при заданном уровне агрохимического воздействия на почву элементарного участка определяется его пригодность для возделывания сельскохозяйственной культуры. Ее результаты представлены на рис. 1.

Данная модель показывает, что при соблюдении внесения минимально необходимых доз фосфора и калия за непродолжительное время некоторые элементарные участки могут значительно поднять свой текущий уровень пригодности для возделывания той или иной культуры.

Таблица 1

**Агрохимические показатели элементарных участков СПК «Авангард»
Осиповичского района по данным 13-го тура агрохимических обследований
(фрагмент)**

№ элементарного участка	Содержание подвижных элементов, мг/кг почвы	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
291	157	181
292	77	71
293	88	49
295	126	96
296	86	78
297	93	129
298	106	96
299	154	155
300	214	162
301	112	63

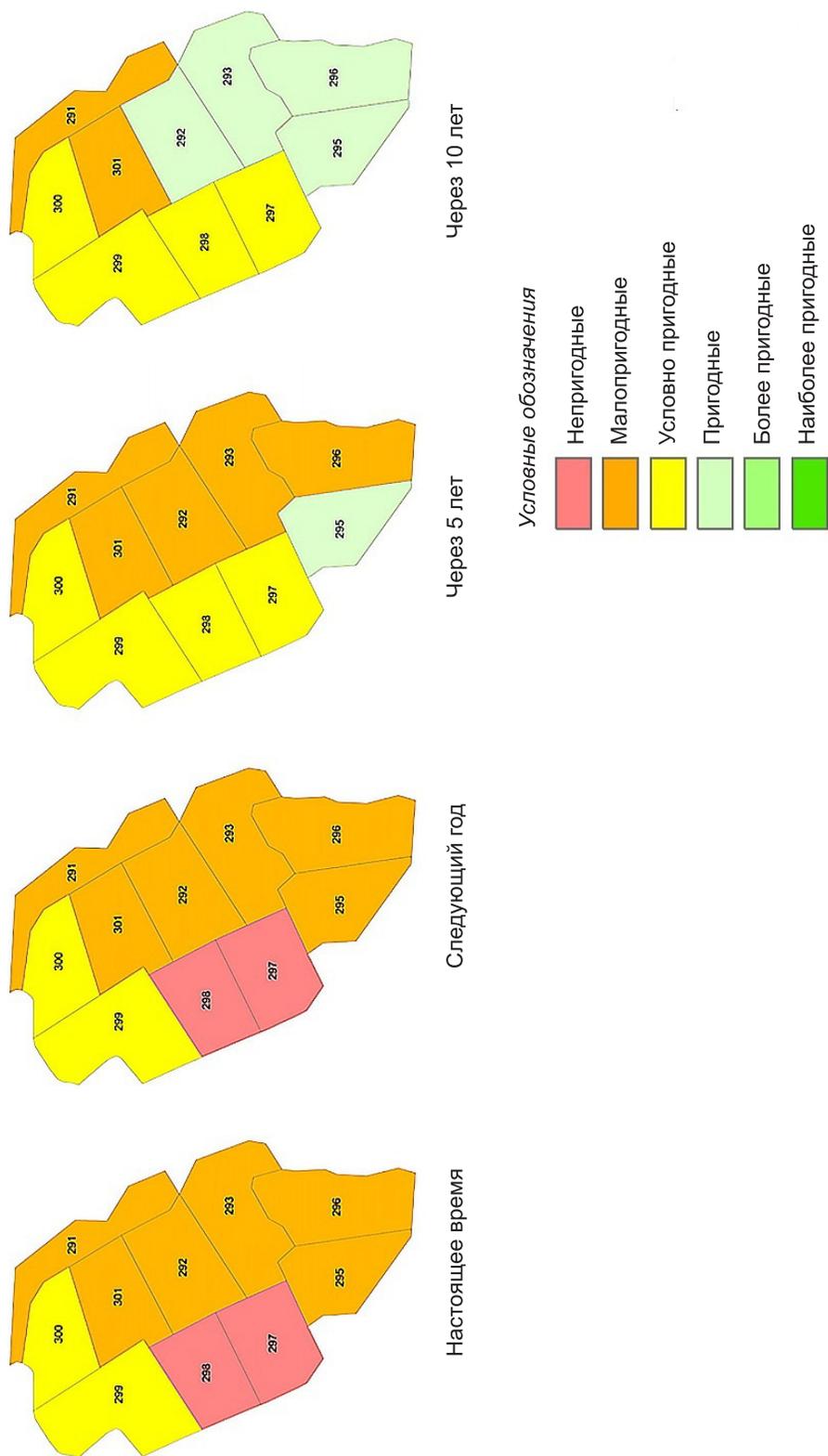


Рис. 1. Пригодность почв элементарных участков СПК «Авангард» Осиповичского района для возделывания озимой ржи согласно прогнозной модели (фрагмент)

Применение различных прогнозных и планируемых моделей дает возможность с минимальным расходом удобрений поддержать наиболее нуждающиеся в повышении существующего уровня плодородия элементарные участки, довести некоторые из них до оптимальных уровней содержания фосфора и калия в течение ротации одного севооборота, а также уменьшить дозы минеральных удобрений для участков с большими запасами подвижных форм элементов питания. Появляется возможность апробировать различные виды моделей (поддерживающие плодородие, природоохранные цели, интенсивные стратегии использования удобрений и мелиорантов и так далее). Это позволяет путем планирования расхода материальных ресурсов на каждом конкретном поле перейти к планированию ведения сельскохозяйственного производства в целом для хозяйства. Кроме этого, появляется возможность создания резерва более пригодных почв за счет создания наиболее окультуренных, обладающих большим запасом питательных веществ, которые позволяют получать высокие урожаи возделываемых культур. Создание таких почв является инвестиционным фактором развития производства для сельскохозяйственного предприятия.

Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова позволяет достичь следующих целей (рис. 2):

- создание и поддержка в актуальном состоянии информационных банков данных об отдельных свойствах компонентов почвенного покрова за различные периоды наблюдения: крупномасштабные почвенные карты за различные годы обследования, карты элементарных и рабочих участков, данные об агрохимическом обследовании почв, история полей, данные о агроэкологическом состоянии почв;
- использование накопленных данных о динамике свойств отдельных компонентов почвенного покрова для оптимизации землепользования (оптимальное размещение сельскохозяйственных культур с наименьшими материальными затратами и максимальным использованием существующего плодородия почв, в том числе севооборотов);
- прогнозирование возможности и целесообразности применения различных приемов повышения плодородия почв для наиболее экономически эффективного возделывания сельскохозяйственных культур с учетом текущего состояния почвенного покрова отдельного землепользования (подбор наиболее оптимальных предшественников сельскохозяйственных культур, предложения по оптимальным севооборотам, предложения по изменению существующих элементарных и рабочих участков).

Указанные цели достигаются за счет решения трех основных взаимосвязанных задач: информационной, прогнозной и управленческой. Информационная задача заключается в сборе, систематизации и анализе данных об отдельных компонентах почвенного покрова во времени. Она представлена в системе в виде баз данных и картографического материала. Прогнозная задача предполагает возможность краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного оценивания состояния земель для возделывания тех или иных сельскохозяйственных культур, а также установление тенденций их трансформаций или целенаправленного изменения отдельных свойств почв. Управленческая задача заключается в разработке мероприятий по выбору оптимального использования почвенного покрова в данных условиях, в планировании изменений его свойств для рационального и наиболее экономически выгодного использования земель и почв при сохранении экологической безопасности производства и недопущения различных видов их деградации.

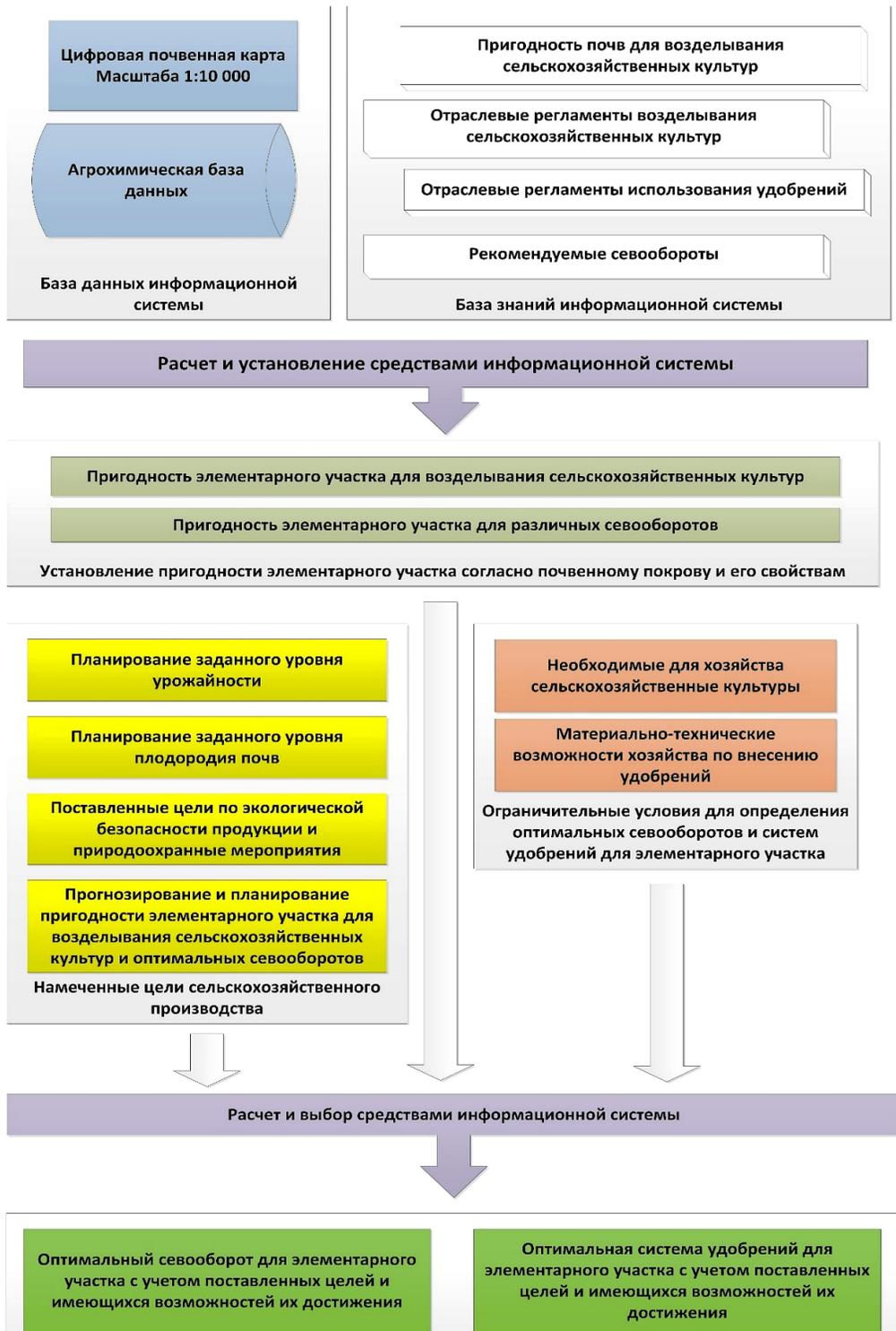


Рис. 2. Функциональная схема информационной системы учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова

ВЫВОДЫ

Различные модели прогнозирования и планирования показателей уровня пригодности почв элементарных участков позволяют достичь поставленных перед сельскохозяйственным предприятием целей. Доказана возможность с минимальным расходом удобрений поддержать наиболее нуждающиеся в повышении существующего уровня плодородия элементарные участки, довести некоторые из них до оптимальных уровней содержания фосфора и калия в течение ротации одного севооборота, в то же время уменьшить дозы минеральных удобрений на участках с большими запасами подвижных форм элементов питания. Планирование расходования материальных ресурсов на каждом конкретном поле позволяет ставить в целом для хозяйства оперативные, краткосрочные и долгосрочные цели и задачи.

Полученные результаты исследований служат фактической базой и моделью для разработки информационной системы учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований для наиболее экономически эффективного и экологически безопасного использования почвенных ресурсов. Создаваемая система учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований является научно-методическим обеспечением сельскохозяйственного производства. Она позволит с наименьшими материальными затратами существенно повысить экономическую эффективность получения растениеводческой продукции за счет объективного планирования производства с учетом требований к агроэкологическим свойствам почвенного покрова, а также реально отражать количественную необходимость внесения органических и минеральных удобрений, микроэлементов, проведения мероприятий по повышению плодородия почв, мелиоративных и защитных работ, обеспечит дифференцированный подход в использовании почвенных ресурсов и удобрений на планируемую урожайность применительно для каждого поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матыченков, Д. В.* Информационно-логические схемы банка данных программно-информационного комплекса по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь / Д. В. Матыченков, Г. С. Цытрон, В. В. Северцов // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 49–57.
2. Земледелие / П. И. Никончик [и др.]; под ред. П. И. Никончика. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 584 с.
3. Почвенно-информационные системы в агропочвоведении / В. В. Лапа [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 2(117). – С. 9–12.
4. *Лапа, В. В.* Новые подходы планирования сельскохозяйственного производства на основе экспертных геоинформационных систем / В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азаренок // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов» им. В. В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2019. – С. 214–217.

5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.

6. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.

INFORMATION SYSTEM FOR DYNAMICS ACCOUNTING AND FORECASTING OF SOIL COVER PROPERTIES

V. V. Lapa, D. V. Matychenkov, T. N. Azarenok

Summary

The information system is aimed at ensuring the optimization of crop requirements for soil cover properties, the ability to predict and adjust its individual properties for use in agricultural production. The created system is a scientific and methodological support for agricultural production and will allow significantly increase the economic efficiency of obtaining crop products with the least material costs.

Поступила 21.10.19

УДК 631.47

ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

**Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок, О. В. Матыченкова,
С. В. Шульгина, С. В. Дыдышко**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

По данным «Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь», общая площадь земель страны по состоянию на 1 января 2019 г. составляет 20760 тыс. га [1]. По классификации Госкомимущества Республики Беларусь все земли подразделяются на категории и виды [2]. Категории земель выделяются по основному целевому назначению и принадлежности к тем или иным землепользователям. К ним относятся земли сельскохозяйственных организаций, земли крестьянских (фермерских) хозяйств, земли промышленных организаций, земли организаций автомобильного транспорта, земли организаций природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения, земли организаций, ведущих лесное хозяйство и др. (табл. 1). Из этих категорий земель наибольшие площади занимают земли сельскохозяйс-

твенных организаций (42,7 %) и земли организаций, ведущих лесное хозяйство (41,4 %). Все остальные категории занимают значительно меньшие территории (от 0,2 до 4,5 %).

Таблица 1

**Распределение земель Республики Беларусь по категориям землепользователей
(на 1.01.2019 г.)**

Наименование категорий землепользователей	Общая площадь земель	
	тыс. га	%
Сельскохозяйственные организации	8865,6	42,7
Крестьянские (фермерские) хозяйства	223,8	1,1
Граждане	874,4	4,2
Промышленные организации	61	0,3
Организации железнодорожного транспорта	49,1	0,2
Организации автомобильного транспорта	157,2	0,8
Организации Вооруженных Сил Республики Беларусь	157,0	0,8
Организации связи, энергетики, строительства, торговли, образования, здравоохранения	199,4	1,0
Организации природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения	927,4	4,5
Организации, ведущие лесное хозяйство	8584,6	41,4
Организации, эксплуатирующие и обслуживающие гидротехнические и иные водохозяйственные сооружения	37,4	0,2
Земли, земельные участки, не предоставленные землепользователям	623,1	3,0
Итого земель	20 760,0	100,0

Виды земель выделяются по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования [2]. Все виды подразделяются на две большие группы: сельскохозяйственные и несельскохозяйственные. К сельскохозяйственным землям относятся пахотные земли, земли под постоянными культурами, луговые земли (улучшенные и естественные). Всего по республике во всех категориях земель сельскохозяйственные земли занимают 8460,1 тыс. га, или 40,8 %, в том числе пахотные – 5712,3 тыс. га, или 27,5 % от общей площади. К несельскохозяйственным землям относятся лесные земли, земли под древесно-кустарниковой растительностью, земли под болотами, земли под водными объектами, земли под дорогами и иными транспортными коммуникациями, земли под застройкой и др. Наибольшую площадь среди них занимают лесные земли – 42,3 % территории республики.

В данной работе более подробно рассмотрены пахотные земли сельскохозяйственных организаций, главной целью которых является производство растениеводческой продукции. Распределение этих земель по их видам в разрезе областей и в целом по республике приведено в табл. 2.

Цель данной работы – оценка современного состояния почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель сельскохозяйственных организаций республики.

**Распределение земель сельскохозяйственных организаций по их видам
(на 1.01.2019 г.)**

Область	Всего сельскохозяйственных земель, тыс. га	В том числе по видам							
		пахотных		под постоянными культурами		улучшенных луговых		естественных луговых	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Брестская	1192,9	708,0	59,4	4,1	0,3	399,1	33,5	81,7	6,8
Витебская	1252,0	788,5	63,0	5,4	0,4	310,2	24,8	147,9	11,8
Гомельская	1200,9	827,5	68,9	6,6	0,5	257,7	21,5	109,1	9,1
Гродненская	1077,7	732,7	68,0	3,6	0,3	273,5	25,4	67,9	6,3
Минская	1594,6	1177,1	73,8	6,6	0,4	311,3	19,5	99,6	6,2
Могилевская	1088,9	756,7	69,5	6,5	0,6	173,2	15,9	152,5	14,0
Республика Беларусь	7408,3	4991,5	67,4	32,8	0,4	1725,2	23,3	658,8	8,9

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований явились земельные ресурсы Республики Беларусь, их площади, классификация, распределение по категориям и видам земель как в целом по республике, так и по областям. Основное внимание уделено пахотным землям сельскохозяйственных организаций.

Обработка данных проводилась методами математической статистики и сравнительного анализа.

Площади земель по категориям и видам, их распределение по республике и областям приведены по данным «Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь» по состоянию на 1.01.2019 г. [1].

Для оценки плодородия почв и анализа качественного состояния земельных ресурсов использованы результаты второго тура кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, выполненной в 2009–2016 гг. по усовершенствованной методике. Результаты оценки опубликованы в книге «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика» и размещены на сайте Госкомимущества. В данной статье все баллы приведены с учетом корректировки материалов кадастровой оценки, которая была проведена в 2017 и 2018 гг. [3–7].

Для анализа производительной способности почв и структуры посевных площадей использованы статистические данные по валовому сбору и урожайности зерновых и зернобобовых культур за 2014–2018 гг. и посевным площадям за 2018 г. [8–9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В научной литературе в последние годы исследованиям почвенно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель уделяется достаточное внимание. При этом имеются различные подходы и критерии его количественной оценки [10–14]. Наиболее часто такие исследования базируются на изучении земельных ресурсов, их площадей, оценке плодородия и характеристике производительной способности почв.

Анализ факторов, в наибольшей степени влияющих на производительную способность почв в условиях Беларуси (тип, увлажнение, гранулометрический состав, состояние агрохимических показателей, эродированность, завалуненность, контурность, мелиоративное состояние, климатические характеристики, результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель), показал, что наиболее важным и существенным показателем, характеризующим почвенно-ресурсный потенциал, является балл плодородия почв, полученный в результате проведения кадастровой оценки земель. Выбор этого показателя в качестве критерия оценки ресурсного потенциала обусловлен тем, что он является комплексным показателем, при определении которого учитывались практически все вышеперечисленные характеристики и свойства почв, а также условия сельскохозяйственного производства.

Использование показателя балла плодородия почв дает возможность оценить производственный потенциал почвенно-земельных ресурсов в соизмеримых единицах (баллах), которые по видам сельскохозяйственных земель в разрезе областей и в целом по республике приведены в табл. 3.

Таблица 3

Балл плодородия почв по видам сельскохозяйственных земель

Область	Пахотные и под постоянными культурами	Улучшенные луговые	Естественные луговые	Всего сельскохозяйственные
Брестская	31,7	31,0	16,5	30,4
Витебская	28,3	27,1	12,3	26,2
Гомельская	28,6	28,7	14,6	27,2
Гродненская	35,5	30,3	15,0	32,8
Минская	33,4	30,0	13,9	31,4
Могилевская	31,7	29,1	14,4	28,8
Республика Беларусь	32	29	14	29

Итоги кадастровой оценки земель показывают значительные различия в качественном состоянии земель республики. Причем эти различия увеличиваются по мере уменьшения статуса рассматриваемых объектов (область, район, хозяйство, рабочий участок) (табл. 4) [4–7, 15].

Таблица 4

Диапазоны разнокачественности пахотных земель по баллу плодородия почв

Территориальный уровень оценки	Объект оценки	Балл плодородия почв	Соотношение баллов
1 (область)	Гродненская область	35,5	1,25
	Витебская область	28,3	
2 (район)	Несвижский район Минской области	43,9	1,95
	Городокский район Витебской области	22,5	
3 (хозяйство)	ОАО «Туровщина» Житковичского района	50,6	2,88
	ОАО «Комаринский» Брагинского района	17,6	
4 (рабочий участок)	Участок № 56 ОАО «Туровщина» Житковичского района	77,1	14,28
	Участок № 85 УКСП «Совхоз «Ольса»» Кличевского района	5,4	

Важное значение для оценки почвенно-ресурсного потенциала отдельных регионов, наряду с баллом плодородия почв, имеют размеры площадей тех или иных видов земель. В сельскохозяйственных организациях Беларуси пахотные земли занимают 4991,5 тыс. га, а все сельскохозяйственные земли – 7408,3 тыс. га. Наибольшие площади как пахотных (1177,1 тыс. га), так и сельскохозяйственных (1594,6 тыс. га) – в Минской области. Наименьшие площади пахотных земель (708,0 тыс. га) – в Брестской области, сельскохозяйственных (1077,7 тыс. га) – в Гродненской (табл. 2). В среднем по республике доля пахотных земель в составе сельскохозяйственных в сельскохозяйственных организациях составляет 67,4 %, при колебании по областям от 73,8 % в Минской области до 59,4 % в Брестской. Среди районов площадь пахотных земель колеблется от 80–90 тыс. га (Слуцкий, Копыльский, Солигорский районы Минской области, Барановичский и Пружанский районы Брестской области, Рогачевский район Гомельской области, Могилевский и Гродненский районы) до 13–16 тыс. га (Наровлянский район Гомельской области, Россонский район Витебской области, Краснопольский район Могилевской области) [1].

Исходя из этого, обобщающим показателем оценки почвенно-ресурсного потенциала с учетом качества земель и их количества (т. е. площадей) может служить балло-гектар (произведение балльной оценки того или иного вида земель на их площадь). Он используется для сравнения почвенно-ресурсного потенциала каких-либо территорий в целом (районов, областей).

Для оценки эффективности использования почвенно-ресурсного потенциала можно использовать такой показатель как производство той или иной сельскохозяйственной продукции в расчете на балло-гектар (для удобства чаще используется 100 балло-гектаров). А так как в Беларуси основной группой культур являются зерновые и зернобобовые, которые занимают 42,0 % посевных площадей (табл. 5), то для характеристики и оценки почвенно-ресурсного потенциала была взята именно эта группа культур, ее урожайность и валовой сбор зерна (всего и в расчете на 100 балло-гектаров).

Таблица 5

Структура посевных площадей основных групп сельскохозяйственных культур по областям (2018 г.)

Область	Общая посевная площадь, тыс. га	Группы сельскохозяйственных культур					
		зерновые и зернобобовые		технические		кормовые	
		га	%	га	%	га	%
Брестская	843,9	368,0	43,6	86,3	10,2	384,2	45,5
Витебская	791,6	312,3	39,5	94,9	12,0	382,0	48,3
Гомельская	940,4	365,4	38,9	46,8	5,0	520,9	55,4
Гродненская	736,7	339,8	46,1	96,5	13,1	295,7	40,1
Минская	1203,4	515,5	42,8	138,3	11,5	541,9	45,0
Могилевская	764,0	318,8	41,7	70,5	9,2	370,0	48,4
Республика Беларусь	5279,9	2 219,9	42,0	533,3	10,1	2 494,7	47,2

Однако общая посевная площадь сельскохозяйственных культур по некоторым областям значительно больше площади пахотных земель, приведенных в реестре земельных ресурсов, что несколько искажает показатели производительной

способности пахотных земель. Поэтому для окончательного анализа почвенно-ресурсного потенциала были взяты посевные площади сельскохозяйственных культур (табл. 6).

Таблица 6

Сравнение площадей пахотных земель и посевных площадей сельскохозяйственных культур по областям (тыс. га)

Область	Площадь пахотных земель по реестру земельных ресурсов (на 01.01.2019 г.)	Посевная площадь сельскохозяйственных культур (2018 г.)	Посевная площадь к площади пахотных земель (±)
Брестская	708,0	843,9	+ 135,9
Витебская	788,5	791,6	+ 3,1
Гомельская	827,5	940,4	+112,9
Гродненская	732,7	736,7	+ 4,0
Минская	1177,1	1 203,4	+26,3
Могилевская	756,7	764,0	+ 7,3
Республика Беларусь	4991,5	5 279,9	+ 288,4

Оценка почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель (рассчитанная по посевным площадям сельскохозяйственных культур) в областях и республике, полученная этими методами, и их производительная способность представлены в табл. 7.

Таблица 7

Сравнительная оценка почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель сельскохозяйственных организаций

Область	Посевная площадь (тыс. га)	Оценка почвенно-ресурсного потенциала		Производительная способность земель*		
		в баллах плодородия почв (факт. балл)	в балло-гектарах, всего (тыс. б.-га)	урожай-ность (ц/га)	валовой сбор зерна, всего (тыс. т)	валовой сбор зерна, т/100 б.-га
Брестская	843,9	31,7	26752	35,2	1271	4,8
Витебская	791,6	28,3	22402	26,9	941	4,2
Гомельская	940,4	28,6	26895	28,8	1096	4,1
Гродненская	736,7	35,5	26153	39,9	1390	5,3
Минская	1203,4	33,4	40194	34,8	1855	4,6
Могилевская	764	31,7	24219	31,9	1015	4,2
Республика Беларусь	5279,9	32	168957	33,0	7569	4,5

* Средние данные за 5 лет (2014–2018 гг.).

Если оценивать почвенно-ресурсный потенциал только по баллу плодородия почв, на первом месте среди областей будет Гродненская (35,5 балла), на втором Минская (33,4) и на третьем Брестская и Могилевская области (по 31,7 балла). Последние места занимают Витебская (28,3 балла) и Гомельская (28,6 балла)

области. При оценке почвенно-ресурсного потенциала в балло-гектарах самый высокий показатель имеет Минская область (40 млн балло-гектаров), так как площадь пахотных земель здесь самая большая в республике. Затем идут Гомельская, Брестская и Гродненская области (27–26 млн балло-гектаров). Самый низкий показатель имеет Витебская область (около 22 млн балло-гектаров).

Производительная способность почв в областях также значительно различается. Самая высокая урожайность зерновых и зернобобовых культур за последние 5 лет в Гродненской области (39,9 ц/га), на втором месте находится Брестская область (35,2 ц/га) и на третьем – Минская (34,8 ц/га). По валовому сбору зерна первое место занимает Минская область (1855 тыс. т), затем идут Гродненская (1390 тыс. т) и Брестская (1271 тыс. т) области. По валовому сбору зерна в расчете на 100 балло-гектаров самый высокий показатель также в Гродненской области (5,3 т). В Брестской и Минской областях он составляет 4,8–4,6 т, а в Витебской, Гомельской и Могилевской он равен 4,2–4,1 т.

Таким образом, наиболее эффективно используются пахотные земли в Гродненской области, где в среднем за последние пять лет было получено по 5,3 т зерна на 100 б.-га, а менее эффективно – в Витебской, Гомельской и Могилевской (4,2–4,1 т/100 б.-га).

Корреляционный анализ полученных данных показывает, что теснота связи между оценкой почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель и их производительной способностью очень высокая (табл. 8), что подтверждает объективность и высокую достоверность полученных результатов по оценке почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель Беларуси.

Таблица 8

Корреляционная зависимость почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель и их производительной способности

Область	Количество показателей (районов)	Коэффициенты корреляции	
		балл плодородия / урожайность	балло-гектар посевных площадей / валовой сбор зерна
Брестская	16	0,89	0,97
Витебская	21	0,61	0,92
Гомельская	21	0,44	0,93
Гродненская	17	0,70	0,89
Минская	22	0,83	0,79
Могилевская	21	0,65	0,97
Республика Беларусь	118	0,78	0,90

ВЫВОДЫ

Почвенно-ресурсный потенциал представляет собой совокупный показатель, характеризующий качество земель (плодородие почв) и их количество – земельный фонд, представляющий собой распределение земель по категориям и видам в разрезе различных территориально-административных единиц. В составе земельного фонда Республики Беларусь наибольшие площади занимают земли

сельскохозяйственных организаций (42,7 % от общей площади). В этой категории земель сельскохозяйственные земли (пахотные, луговые, под постоянными культурами) составляют 7408,3 тыс. га, в том числе пахотные – 4991,5 тыс. га (или 67,4 % от площади всех сельскохозяйственных земель).

Оценка плодородия почв (в баллах) является наиболее важной и объективной характеристикой почвенно-ресурсного потенциала. Она учитывает не только современное состояние почвенного покрова (тип почв, увлажнение, гранулометрический состав), но и включает другие характеристики и свойства почв и земельных участков, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур (климатические, культуртехнические, агрохимические, мелиоративные).

Почвенно-ресурсный потенциал реализуется в процессе хозяйственной деятельности человека и находит свое выражение в производстве сельскохозяйственной продукции на единицу площади (урожайность отдельных культур или их групп) или в объемах производства этих культур на всю площадь пахотных или сельскохозяйственных земель (валовой сбор). В Беларуси наиболее часто используется урожайность основной группы сельскохозяйственных культур (зерновых и зернобобовых) и валовой сбор зерна всего (на всю территорию пахотных земель или посевную площадь) и в расчете на 100 балло-гектаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реестр земельных ресурсов республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2019 года) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 57 с.
2. Кодекс Республики Беларусь о земле. Утв. 23 июля 2008 г., № 425-3.
3. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.
4. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
5. Результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: http://gki.gov.by/ru/rezultaty_kadastrovoi_osenki/. – Дата доступа 11.07.2019.
6. *Шибут, Л. И.* Основные результаты второго тура кадастровой оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси / Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина // Повышение плодородия почв и применение удобрений: материалы Международ. науч.-практ. конф., Минск, 14 февраля 2019 г. / Институт почвоведения и агрохимии; редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – С. 135–136.
7. Анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам / Л. И. Шибут [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 7–14.
8. Посевные площади сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям и районам в 2018 году. – Минск, 2019.

9. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям и районам в 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 г. – Минск, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019.

10. *Черныш, А. Ф.* Методические подходы к оценке потенциала почвенно-земельных ресурсов эрозионных и заболоченных агроландшафтов / А. Ф. Черныш, А. Э. Радюк, А. А. Клус // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1(40). – С. 40–49.

11. Агроэкологическая составляющая потенциала почвенно-земельных ресурсов / Т. А. Романова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2(45). – С. 40–49.

12. *Бачила, С. С.* Производственный потенциал сельскохозяйственных земель Минской области / С. С. Бачила // Природные ресурсы. – № 4. – 2003. – С. 20–29.

13. *Климова, Т.* Региональные различия в земельно-ресурсном потенциале сельскохозяйственных организаций административных районов / Т. Климова, И. Кононович // Земля Беларуси. – 2004. – № 4. – С. 18–22.

14. Система оценки ресурсного потенциала агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2012. – 67 с.

15. *Лапа, В. В.* Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки) / В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 7–14.

ASSESSMENT OF THE SOIL-RESOURCE POTENTIAL OF ARABLE LAND OF AGRICULTURAL IN BELARUS

L. I. Shibut, T. N. Azarenok, O. V. Matychenkova,
S. V. Shul'gina, S. V. Dydyska

Summary

The article describes the current state of the soil-resource potential of the arable lands of agricultural organizations in Belarus, including an assessment of soil fertility and the availability of arable land in the republic, regions and certain regions. The indicators characterizing the quantitative assessment of the soil-resource potential and their connection with the productive capacity of lands are established.

Поступила 09.09.19

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В АГРОЛАНДШАФТАХ БЕЛАРУСИ

Н. Н. Цыбулько¹, П. И. Волович², А. М. Устинова¹,
С. А. Касьянчик¹, В. Б. Цырибко¹,

¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

²Институт леса НАН Беларуси,
г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Почва как компонент агроландшафта в результате интенсивного развития сельскохозяйственного производства, сопровождающегося распашкой огромных площадей, уничтожением естественной растительности, постоянно подвергается эрозионным процессам. Все это приводит к нарушению экологического равновесия природной среды, деградации почвенного покрова, от состояния которого в значительной степени зависит устойчивость агроландшафта в целом [1].

Безусловно, при использовании земельных ресурсов в сельскохозяйственном производстве регулировать и управлять процессами, происходящими в агроэкосистемах, весьма сложно, это требует, прежде всего, правильного использования земель, применения прогрессивных систем земледелия, правильных севооборотов, надлежащей обработки почв, других мероприятий, направленных на улучшение их водного, воздушного и питательного режимов.

В условиях резко возросшего антропогенного влияния на природные комплексы, усиливающегося истощения природных ресурсов, возрастания количества экстремальных погодных явлений, значительно повышается защитная роль лесных насаждений как средства восстановления экологически сбалансированного агроландшафта.

Основная цель защитного лесоразведения направлена на создание более благоприятных почвенных и климатических условий для ведения сельского хозяйства, повышение продуктивности сельскохозяйственных земель. Наряду с этим, защитное лесоразведение позволяет вовлечь в хозяйственный оборот неудобные и неиспользуемые в сельском хозяйстве земли, улучшить водный режим рек, водоемов и т.д., способствует сохранению и улучшению природной среды.

Создание полезащитных насаждений является биологическим методом улучшения природной среды, восстановлением природы ее собственными силами. При этом создание насаждений особых форм и конструкций в определенной системе и взаимосвязи друг с другом, занимающих строго определенное место в числе других элементов агроландшафта, оказывает благоприятное влияние весьма продолжительное время. Правильно размещенные защитные насаждения на сельскохозяйственных землях создают необходимую защитную лесистость, улучшают гидроклиматические и почвенные условия местности, повышают урожайность сельскохозяйственных культур.

Система полезащитных насаждений должна включать различные их виды в зависимости от направления преобладающих вредоносных ветров, рельефа местности, степени эродированности почв, целевого назначения насаждений. Так, полезащитные насаждения на плоских водоразделах и пологих склонах (1,5–2,0°) создают условия для снегозадержания, равномерного распределения снега на полях, повышения влажности почв, улучшения водного режима сельскохозяйственных полей, микроклимата, защиты посевов от вымерзания, засух, пыльных бурь.

Большое противозерозионное значение имеют водорегулирующие насаждения на крутых склонах, а также насаждения возле водных объектов.

Защитные насаждения (ЗН) и другие виды посадок (аллейные, однорядные) вдоль дорог, защищая дороги от заносов снегом, песком, мелкоземом и других неблагоприятных влияний, создают условия для их нормальной эксплуатации.

Надо подчеркнуть, что только комплексное создание указанных видов ЗН дает возможность эффективно выполнять возложенные на них функции. Так, изменение ветрового режима местности будет эффективным только тогда, когда полезащитные (ветроломные) полосы функционируют не в качестве самостоятельного образования, а как элемент в системе ЗН всех видов, с учетом специфики влияния каждого из них на отдельные факторы среды. В то же время водорегулирующие защитные насаждения более эффективно выполняют гидрологическую роль в комплексе с ветроломными полосами, которые, располагаясь в водораздельной зоне, оказывают влияние на формирующийся здесь поверхностный сток. Потому очень важно создавать в хозяйствах систему ЗН, способных защитить всю территорию от воздействия неблагоприятных факторов [2].

Ведение агропромышленного производства, оптимизированного на совокупности определенных факторов, все чаще нуждается в его совершенствовании в ландшафтно-экологическом аспекте. Оптимизация природоохранных мероприятий требует хозяйствования в соответствии с условиями ландшафтов, состоянием защитных насаждений и закономерностями экологии, т. е. предотвращения причин тех или иных кризисных явлений в окружающей среде, а не их последствий [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территории Беларуси независимо от административно-территориального деления выделены 3 почвенно-экологические провинции: северная, центральная и южная. В их пределах сформировано 40 почвенно-экологических районов, среди которых есть районы с высокой вероятностью проявления процессов эрозионной деградации. Исследования защитных насаждений проводили в течение 2017–2019 гг. в районах с высокой интенсивностью проявления водно-эрозионных процессов и в районах с высокой и очень высокой дефляционной опасностью почв на территории сельскохозяйственных предприятий, в которых проведена осушительная мелиорация.

В современных агроландшафтах в этих районах существенно изменен характер фитоценозов, что требует проведения вполне определенных защитных мероприятий по оптимизации экологических условий в связи с эрозией почв.

Объектами наших исследований были защитные насаждения разных видов, в том числе насаждения естественного происхождения, размещенные на мели-

орированных землях вдоль магистральных каналов, дорог, на склонах, и вдоль других элементов ландшафтов.

Обследования выполняли в северной (Витебско-Лиозненский и Поставско-Глубокско-Лепельский почвенно-экологические районы), центральной (Новогрудско-Кореличско-Слуцкий, Воложинско-Минский и Оршанско-Могилевский почвенно-экологические районы) и южной (Октябрьско-Светлогорский, Жабинковско-Ивановский и Мозырско-Хойникско-Брагинский почвенно-экологические районы) провинциях.

Защитные насаждения исследовались с точки зрения функциональной принадлежности. В каждой возрастной группе выделяли преобладающие породы по составу, затем по условиям местопроизрастания и по состоянию с учетом методических указаний [4].

При обследовании защитных насаждений закладывались пробные площади по общепринятой методике [5]. На пробных площадях определяли санитарное состояние и показатели роста древостоев [4, 6].

Тип конструкции (продуваемые, ажурные и плотные) защитных насаждений устанавливался визуально по наличию и характеру распределения сквозных проветов между стволами и в кронах [4].

Категории жизненного состояния деревьев определялась по «Санитарным правилам в лесах Республики Беларусь» [6]. При переречетах у каждого растения измеряли высоту и диаметр ствола дерева на высоте 1,3 м.

На основании данных, полученных в результате переречетов и оценки жизненного состояния деревьев, рассчитывали индексы жизненного состояния древостоев [7].

При индексе от 1,7 до 0,8 жизненное состояние древостоя оценивалось как «здоровое», при индексе от 0,79 до 0,5 древостой считался «поврежденным», при индексе от 0,49 до 0,2 – «сильно поврежденным», при индексе от 0,19 и ниже – «разрушенным» или полностью «деградированным».

Критерием эффективности агротехники создания полезащитных насаждений являются: сохранность (густота), наличие окон и разрывов, рост и развитие насаждений, а также их продуктивность. Кроме этого, в отдельных насаждениях исследовали протяженность и ширину проекций крон деревьев в зависимости от местоположения в лесных полосах. При обследовании устанавливали участки разрывов защитных лесополос с разной градацией (5, 10, 15 м и более).

Собранный полевой материал обрабатывался по имеющимся стандартным программам на персональном компьютере.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полезащитные насаждения (ПЗН) на мелиорированных землях Беларуси создавались в период с 1960-х годов прошлого столетия до 2005 г. Было создано около 7,5 тыс. га таких насаждений. В результате проведенных обследований полезащитных насаждений и данных предприятий мелиоративных систем установлено, что их площадь значительно меньше фактической. В районах Брестской области, подвергшейся осушительной мелиорации земель в наибольшей степени, она составила 1800,96 га. Площадь полезащитных насаждений, созданных на осушенных землях Гомельской области, составляет 1331,3 га, в Минской области – 813,94 га (табл. 1).

Наличие поlezащитных насаждений на осушенных землях

Административная область	Количество районов/ с наличием ПЗН	Период создания ПЗН, годы	Примерная площадь ПЗН, га
Брестская	16/15	1966–2002	1800,96
Витебская	Не создавались		
Гомельская	21/15	1960–1992	1331,30
Гродненская	17/5	1970–1984	6,24
Минская	22/13	1971–1992	813,94
Могилевская	Не числятся		
Всего	–	–	3952,44

Сравнивая эти площади с первоначально созданными поlezащитными насаждениями на мелиорированных землях, следует отметить, что к настоящему времени сохранилось только 52,7 %, т.е. защитная лесистость территорий, подверженных водной и ветровой эрозии почв, стала ниже. Поэтому полагаем, что сложившееся положение с поlezащитными насаждениями на мелиорированных землях в частности и с защитными насаждениями вообще требует кардинального решения проблемы в этих регионах.

Развитие водно-эрозионных процессов на территории Беларуси обусловлено воздействием различных факторов, которые по степени своего проявления характеризуются региональными и локальными чертами [8].

В условиях северной провинции наибольшее влияние оказывает климатический фактор, потом геоморфологический и почвенный. В центральной почвенно-экологической провинции первый фактор – почвенно-антропогенный, второй – геоморфологический, третий – климатический, на который приходится наиболее значимые факторные нагрузки, что обуславливает вполне определенное влияние на выбор и адаптацию противозерозионных мероприятий, в том числе лесомелиоративных. Характерной особенностью южной провинции является преобладание почв легкого гранулометрического состава и осушенных торфяных почв. При этом доля дефляционноопасных почв в составе пахотных в районах Полесья составляет 48–85 %.

Воздействие геоморфологического фактора во многом обуславливает мелкую контурность и разобщенность пахотных земель, что характерно для значительной части территории республики. В наибольшей степени это присуще районам Витебской области, отчасти отдельным районам Гродненской и Брестской областей, которые имеют средний размер контура пахотных земель от 5,0 до 10,0 га [9]. Контурность пахотных земель почти за 40-летний период в целом по республике увеличилась от 7,0 га до 21,4 га (более чем в 3 раза), а по областям – в 2,0–4,6 раза (табл. 2).

Контурность пахотных земель увеличивается в 2,0–2,5 раза, особенно в южной части страны, достигая 20,1–25,0 га и 25,1–45,8 га, что, естественно, способствовало увеличению площади под сельскохозяйственными культурами и многолетними травами. Это связано с оптимизацией землепользования сельскохозяйственных организаций, проведенной на основе кадастровой оценки участков пахотных земель по благоприятности для земледелия [9].

Таблица 2

**Динамика средних размеров контура пахотных земель
сельскохозяйственных организаций [9]**

Наименование области	Средний размер контура пахотных земель, га			
	1970 г.	1979 г.	1988 г.	2006 г.
Брестская	11,3	13,7	13,9	19,6
Витебская	2,5	4,7	6,0	11,5
Гомельская	14,1	15,8	19,0	32,0
Гродненская	10,8	14,7	16,0	18,0
Минская	12,6	16,0	16,1	22,7
Могилевская	13,2	17,6	18,2	25,8
В среднем по республике	7,0	10,6	12,2	21,4

При исследовании сельскохозяйственных организаций в Поставско-Глубокско-Лепельском почвенно-экологическом районе, характеризующимся высокой вероятностью проявления водно-эрозионных процессов, установлено, что чем выше закустаренность, тем меньше контурность поля. В среднем по Глубокскому району площадь древесно-кустарниковой растительности (ДКР) составляет 15,2 %, а средний размер контура – 8,0 га (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика сельскохозяйственных земель Глубокского района

Наименование сельскохозяйственного предприятия	Площадь, га				Закустаренность, %
	сельскохозяйственные земли		ДКР	средний размер контура земель	
	всего	в том числе осушенные			
ГП «Озерцы»	4192	2280	216	8,0	5,2
КУП(СХ) «Яблонька»	4183	1259	1026	4,3	24,5
ОАО «Глубокская птицефабрика»	5640	2695	461	8,0	8,2
ОАО «Верхнее»	2784	878	456	4,8	16,4
ОАО «Золотая подкова»	4522	2343	383	6,1	8,5
ОАО «Константинов двор»	8770	2932	2318	4,0	26,4
ОАО «Мосарлен»	515	182	20	–	3,8
ОАО «Сельцы»	2932	922	514	4,1	17,5
ОАО «Черневечи»	7220	1642	1211	3,9	16,8
РУПС «Глубокский комбикормовый завод»	18	–	0,0	–	–
СПФ «Мнюто»	2809	662	308	8,0	10,9
СУП «За Родину»	6711	2021	972	6,0	14,5
СУП «Ломашы-Агро»	3378	1900	554	8,6	16,4
СФ Копыльщина»	1451	561	99	6,7	6,8
СФ «Короли»	2775	483	359	4,4	12,9
СФ «Стринадки»	4475	1926	504	8,9	11,3
СХФ «Прошово»	5328	1265	1067	4,0	20,0
Филиал «Голубичи»	6022	2460	707	8,6	11,7
Итого	73 733	26 411	11 181	8,0	15,2

В ОАО «Черневечи» контурность полей наименьшая – 3,9 га, в ОАО «Константинов двор» – 4,0 га, а в КУП «Яблонька» – 4,3 га. Закустаренность полей в этих

хозяйствах наибольшая и изменяется от 20,0 до 26,4 %. Это довольно высокая площадь древесно-кустарниковой растительности. В агропредприятиях Лиозненского района средняя контурность самая высокая. Абсолютные показатели изменяются от 16,0 до 28,5 га, что превышает эту величину даже по Витебской области более чем в 2 раза.

При обследовании древесно-кустарниковой растительности естественного происхождения, произрастающей вдоль мелиоративных каналов в ГП «Озерцы», установлено наличие в их составе двух групп растений – кустарниковой и древесной. Вторая группа является преобладающей по площади и включает березу повислую, ольху серую и осину, диаметр ствола которых изменяется от 10,7 см до 15,2 см при средней высоте 10,6–12,4 м (табл. 4). Под пологом березы в «окнах» имеются заросли из ивы серой и кустарников высотой 5,0–6,3 м.

Таблица 4

**Таксационные показатели древесных пород
в насаждениях естественного происхождения**

№ пробной площади	Древесная порода	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота насаждения	Количество деревьев, шт./га	Запас древесины, м ³ /га
1	Береза	14,1	11,1	0,54	590	55,3
2	Береза	15,2	11,5	0,71	710	78,3
3	Береза	13,0	11,0	0,51	660	52,8
4	Ольха серая	12,1	10,6	0,73	836	64,8
5	Осина	10,7	12,4	0,64	723	78,4

В насаждениях древесно-кустарниковой растительности, произрастающих вдоль каналов, безлесные площади в виде «окон» и разрывов встречаются редко, что позволяет формировать из них ПЗН (рис. 1).



Рис. 1. Состояние древесно-кустарниковой растительности вдоль мелиоративного канала, ГП «Озерцы» Глубокского района

При обследовании аналогичных насаждений вдоль мелиоративных каналов в СП «Прошково» и ОАО «Константинов двор» установлено, что основной древесной породой, формирующей древостой естественного происхождения, является широко распространенная ольха серая.

Ошмянский почвенно-экологический район характеризуется сравнительно небольшой площадью сельскохозяйственных земель, из них осушенные занимают более 75 % площади (6,26 тыс. га). Средняя контурность полей варьирует от 8,9 до 12,0 га, при этом количество земельных участков в хозяйствах изменяется от 6 (КСУП «Гравжишки») до 32 (КСУП «Приграничный»). Площадь ДКР выше в хозяйствах с большим количеством земельных участков (КСУП «Приграничный» – 114,0 га; КСУП «Ошмянская Ясная Поляна» – 144,0 га), которые в общем выполняют роль защитных насаждений естественного происхождения.

На отдельных участках осушенных земель Ошмяно-Сморгонского направления встречаются аналогичные ЗН вдоль мелиоративных каналов. Например, около деревни Новоспасск Сморгонского района образовалось одно-, двух- и трехрядное насаждение ольхи черной высотой деревьев 8–17 м. Кроны деревьев довольно густые, листва зеленая, блестящая, прирост в высоту нормальный (12–17 см в год) для ольхи 30–37 лет и условий ее произрастания. Ослабленных деревьев не выявлено, санитарное состояние хорошее.

Различия в природных условиях центральной и северной провинций обуславливают закономерность формирования водно-эрозионных процессов, а также формы их проявления. В центральной почвенно-экологической провинции на формирование водно-эрозионных процессов существенное влияние оказывают особенности рельефа. В качестве лесомелиоративного фактора здесь выступает ДКР. В условиях холмистого пересеченного рельефа на склонах большой протяженности (200 м и более), на суглинистых почвах хорошо произрастает ольха серая, образуя полосу защитные насаждения естественного происхождения (рис. 2).



Рис. 2. Полосное насаждение ольхи серой (Ошмянский и Глубокский районы)

Ареал ольхи серой в Беларуси находится в пределах северной геоботанической подзоны широколиственно-еловых лесов, он полностью охватывает Западно-Двинский лесорастительный район, большую часть Ошмянско-Минского района и северную часть Оршанско-Могилевского района подзоны елово-грабовых дубрав [10]. В этих районах ольха серая находит благоприятные условия для произрастания, хотя лесообразующая ее роль заметно снижается.

Сравнивая таксационные показатели насаждения ольхи серой с ходом роста сероольховых древостоев, установлено, что данный показатель характеризуется II–III классом бонитета и соответствует сероольшанникам кисличным, осоковым или долгомощным типам леса. Это вполне допустимо для формирования ПЗН естественного происхождения (табл. 5).

Ольха серая развивает мощную корневую систему, которая распространяется в основном в верхнем слое почвы и значительно выходит за пределы проекции кроны дерева. Произрастая на легкосуглинистой почве, подстилаемой супесью, песком и ниже мореной, она имеет длину корневой системы 17,5 м в 14-летнем возрасте [11].

Таблица 5

Таксационные показатели насаждения ольхи серой на эрозионноопасных сельскохозяйственных землях

№ п/п	Средний диаметр ствола, см	Средняя высота дерева, м	Полнота насаждения	Количество деревьев, шт. / пробная площадь	Запас древесины, м ³ /га	Индекс жизненного состояния
1	13,8	13,0	0,77	53	105,3	1,3
2	14,2	13,7	0,67	74	121,1	1,1
3	15,1	14,1	0,68	61	116,4	1,0

Корни ольхи серой дают многочисленные корневые отпрыски. В благоприятных почвенных условиях ольха серая быстро размножается, «захватывает» территорию пахотных земель, порой уменьшая площадь полей, сокращая их контурность, но в то же время снижая интенсивность эрозионных процессов.

Насаждения ольхи серой естественного происхождения относятся к тем объектам, которые легче других могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве. Благодаря своей способности повышать плодородие почвы, в силу клубнеобразного разрастания корней, вызванного азотофиксирующими организмами, эти насаждения особенно ценны. Однако вопрос о трансформации насаждений, занятых ольхой серой в сельскохозяйственные земли, должен решаться индивидуально и конкретно в каждом отдельно взятом хозяйстве.

Как известно, эрозионные процессы наиболее выражены на пахотных землях, что обусловлено постоянной трансформацией верхнего горизонта почв в результате их распашки. Интенсивность проявления водно-эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях зависит от периода года, характера снеготаяния, количества и интенсивности выпадения осадков, рельефа местности.

В центральной почвенно-экологической провинции большое количество районов с высокой интенсивностью проявления водно-эрозионных процессов. В восточной части это Мстиславско-Дубровенский почвенно-экологический район, в центральной – Воложинско-Минский, Новогрудско-Кореличско-Слуцкий почвенно-

экологические районы, в западной – Гродненско-Волковысский почвенно-экологический район. В разной степени подвержены эрозии в этих районах 19–23,2 % площади сельскохозяйственных земель.

В Мстиславско-Дубровенском почвенно-экологическом районе, где доля эродированных почв в составе пахотных земель превышает 20 %, на нетеррасированных склонах разной экспозиции и крутизной 6–20° созданы ЗН, которые представлены чистыми древостоями ели европейской на суглинистых и глинистых почвах, в разной степени оподзоленных (табл. 6). Все насаждения имеют высокую полноту (0,9–1,0), что способствует задержанию стока, сформированного как ливневыми осадками, так и талыми водами.

Таблица 6

**Лесоводственно-таксационные показатели защитных насаждений
ели европейской, созданных на склонах**

Характеристика склона		Состав насаждения	Площадь участка, га	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Тип леса
экспозиция	крутизна, °						
Северо-западная	10	10Е*	2,9	40	15,0	16,0	Мшистый
Восточная	10	10Е+Б	2,0	40	17,0	16,6	Кисличный
Северо-восточная	15	10Е	0,3	40	15,0	16,0	Кисличный
Северо-западная	20	7Е3Ос+Б	0,9	45	16,0	16,0	Кисличный
Северо-восточная	20	9Е1Ос	0,5	45	16,0	16,8	Кисличный

* Е – ель; Б – береза; Ос – осина.

Под пологом насаждений образовалась мощная лесная подстилка, сформированная из продуктов опада, предотвращающая смыв почвенного мелкозема на склонах разной экспозиции вследствие своей шероховатости. Насаждения характеризуются высоким классом жизнеспособности и санитарного состояния (рис. 3).



Рис. 3. Защитное насаждение ели европейской на склоне в Мстиславско-Дубровенском почвенно-экологическом районе

На склонах крутизной 50–60° созданные насаждения тополя достигли в настоящее время высоты 17–21 м. При этом значительная часть ЗН подвержена заболеванию крон омелью белой, вторая часть – усыхает.

Удельный вес полезащитных насаждений, созданных на торфяно-болотных и минеральных осушенных землях в южной части центральной почвенно-экологической провинции невысокий вследствие небольшого распространения торфяно-болотных почв (Гродненская область – 9 %, юг Минской – 7 %, Могилевская область – 8 %). Основными древесными породами являются береза, ель, редко – дуб и сосна. Двух- и трехрядные лесополосы созданы вдоль вспомогательных осушительных каналов на равнинной части рельефа. Состояние большинства насаждений удовлетворительное, но имеются расстроенные, требующие ремонта и лесоводственных уходов.

В Новогрудско-Кореличско-Слуцком почвенно-экологическом районе полезащитные насаждения из березы являются наиболее устойчивыми и жизнеспособными как на минеральных, так и на торфяно-болотных и торфяных осушенных почвах. Лесополосы из березы представлены в большинстве своем ажурно-продуваемым типом конструкций.

Ивацевичско-Лунинецко-Петриковский почвенно-экологический район является районом с высокой и очень высокой дефляционной опасностью территории. В этом районе наибольшее количество осушенных земель среди почвенно-экологических районов южной провинции. Многие сельскохозяйственные предприятия в этой провинции полностью размещены на осушенных землях, значительная часть которых защищена системой полезащитных насаждений. Почвы торфяные низинного типа, в меньшей степени дерновые, заболоченные, значительная часть которых к настоящему времени деградировала [12]. «Сработка» торфа составляет 0,8–1,4 м. В отдельных случаях произошла минерализация торфяного слоя, утрачено плодородие, наблюдается заболачивание участков. Полезащитные насаждения в большинстве своем представлены тополями разных видов (табл. 7).

Полезащитные насаждения в Ивацевичско-Лунинецко-Петриковском почвенно-экологическом районе размещены на различных типах земель. Так, в сельскохозяйственных организациях Ивацевичского района обследованные полезащитные насаждения расположены на осушенных торфяно-болотных и торфяно-минеральных почвах с высоким уровнем грунтовых вод. Полезащитные насаждения тополя, которые являются основной древесной породой в данном районе, характеризуются неудовлетворительным санитарным состоянием (в основном усохли или усыхают) и оцениваются как погибающие, расстроенные, подлежащие полному восстановлению (рис. 4).

Насаждения из других древесных пород (береза, дуб, клен, сосна), созданные на аналогичных типах почв, но с более низким уровнем грунтовых вод, а также на осушенных минеральных почвах, отличаются лучшим санитарным состоянием и жизнеспособностью. Особенность таких лесополос состоит в том, что полезащитные насаждения являются чистыми по составу, в основном пятирядные, и размещены вдоль магистральных каналов. Например, в ОАО «Новоселки» Петриковского района насаждения сосны представляют плотный тип конструкции, удовлетворительного и хорошего санитарного состояния (рис. 5).

Таблица 7

Лесоводственно-таксационная характеристика полезащитных насаждений в Ивацевичско-Лунинецко-Петриковском почвенно-экологическом районе

Район	Наименование организации	Таксационная характеристика насаждения					Санитарное состояние, балл	Класс жизнеспособности
		возраст	видовой состав	средняя высота	средний диаметр	тип конструкции		
Ивацевичский	СПК «Талица-агро»	42	Тополь	22,1	34,0	–	Усохло	–
	СПК «Святая Воля»	45	Тополь	23,3	44,8	–	Усохло	–
	КСУП «Победа»	40	Тополь	24,8	39,5	Продуваемая	Усыхающее	Погибающее
Лунинецкий	СПК «Чучевичи»	47	ЗрБ	19,6	24,4	То же	III, 3	2,4
		50	Тополь	25,6	54,2	–	Усыхающее	–
	КСУП «Хвоецкое»	47	Тополь	24,4	28,8	Продуваемая	II, 3	3,3
		35	ЗрБ	14,8	21,1	То же	I, 3	1,2
		41	4рС	15,1	28,1	Плотная	I, 5	2,0
Петриковский	КСУП «Заветы Ильича»	37	ЗБ1Ив	17,6	20,0	Ажурно-продуваемая	I, 6	1,3
	ОАО «Новоселки»	45	Сосна	16,5	24,6	Плотная	I, 1	1
	КСУП «Имение Ульянова»	42	1рД 1рКл	14,7	20,6	То же	I, 6	1,4
		40	ЗрБ	19,5	22,6	Ажурно-продуваемая	I, 3	1,6

* 3 р – 3 ряда; Б – береза, С – сосна, И – ива, Д – дуб, Кл – клен.



Рис. 4. Усыхающее полезащитные насаждения тополя, КСУП «Победа», д. Козинки Ивацевичского района



Рис. 5. Полезащитное насаждение сосны обыкновенной, ОАО «Новоселки» Петриковского района

Следует отметить, что лесоводственные уходы в полезащитных насаждениях в основном не проводятся, что снижает их жизнеспособность и защитные функции. В отдельных случаях наблюдается «захват территории», т.е. насаждения, особенно осины, разрастаются естественным путем вдоль опушки ПЗН, что препятствует обработке почвы и нарушает процесс формирования защитных насаждений и его функций.

При обследовании полезащитных насаждений в Жабинковско-Ивановском почвенно-экологическом районе установлено, что почти во всех хозяйствах насаждения тополя усохли или усыхают и только насаждения из березы отличаются удовлетворительным санитарным состоянием и жизнеспособностью.

Насаждения из рябины, клена американского (ОАО «Спорово») нуждаются в санитарно-оздоровительных мероприятиях. В хозяйстве ОАО «Песковское» почти все полезащитные насаждения созданы на осушенных торфяно-болотных почвах в 1977 году из березы, березы с тополем, березы с ольхой черной и характеризуются хорошим санитарным состоянием и защитным эффектом.

ВЫВОДЫ

1. Полезащитные насаждения на мелиорированных сельскохозяйственных землях, по откосам оврагов, защитные насаждения других видов, состояния и породного состава в общем выполняют защитные функции, но как система защитных насаждений в целом разбалансирована. Необходимо развитие защитного лесоразведения, основанного на более глубоком изучении и программно-методической проработке вопросов, связанных с проблемой уменьшения интенсивности деградационных процессов на сельскохозяйственных землях.

2. В Беларуси более чем в 30 административных районах высокая вероятность проявления эрозионных процессов. Решить вопрос формирования стабильных агролесомелиоративных комплексов можно через организацию системы защитных насаждений, увеличение ее защитных функций и повышение уровня защитной лесистости агроландшафтов.

3. Развитие процессов водной эрозий и дефляции почв на территории республики обусловлено воздействием геоморфологических, климатических, почвенных и антропогенных факторов, но закономерности их проявления существенно различаются, что сопряжено с особенностями рельефа, завалуненностью почв, контурностью полей, их разобщенностью, древесно-кустарниковой растительностью и рядом других показателей, непосредственно связанных с географическими условиями почвенно-экологической провинции и конкретных районов. Главными компонентами, составляющими агролесомелиоративную часть ландшафтного комплекса защитных мероприятий, должны быть система защитных насаждений на пахотных землях приводораздельного и присетевого фондов водосборов и система овражно-балочных насаждений, расположенные преимущественно в гидрографическом фонде. Включаются также защитные насаждения разных видов и породного состава вдоль дорог, каналов, вокруг ферм, полевых станов, населенных пунктов и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лопырев, М. И.* Основы агроландшафтоведения: учеб. пособие / М. И. Лопырев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995. – 184 с.
2. *Поляков, А. К.* Принципы размещения и формирования защитных лесных насаждений в агроландшафтах Донбасса / А. К. Поляков, А. А. Подкопаев, Е. Н. Лихацкая // Промышленная ботаника. – 2002. – № 2. – С. 49–56.

3. *Черныш, А. Ф.* Актуальные задачи почвозащитного лесоразведения на эрозионноопасных землях Беларуси / А. Ф. Черныш, П. И. Волович // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. по материалам V Междунар. науч. экол. конф. / сост. В. В. Корунчикова; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 52–57.
4. Инструктивные указания по агролесомелиоративному устройству защитных лесонасаждений на землях сельскохозяйственных предприятий / Мин-во сельского хоз-ва СССР. – М., 1983. – 55 с.
5. *Мирошников, В. С.* Лесная таксация / В. С. Мирошников. – Минск: Вышэйшая школа, 1969. – 104 с.
6. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление Министерства лесного хоз-ва Республики Беларусь, 19 декабря 2016 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 8/31603. – 21 с.
7. *Алексеев, В. А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
8. *Черныш, А. Ф.* Оценка факторов формирования эрозионных процессов в целях планирования и адаптации противоэрозионных комплексов к почвенно-экологическим условиям Беларуси / А. Ф. Черныш, А. Э. Радюк // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 2(43). – С. 23–31.
9. *Радченко, Н. В.* Контурность пахотных земель Беларуси и ее учет при качественной оценке земель / Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1(42). – С. 65–72.
10. *Юркевич, И. Д.* Сероольховые леса и их хозяйственное использование / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман, В. И. Парфенов. – Минск: Изд-во Академии наук БССР, 1963. – 144 с.
11. *Смирнова, В. А.* О реконструкции сероольшаников БССР. Бюллетень института биологии за 1960 г. / В. А. Смирнова, П. Е. Сороговец. – Минск: Изд. АН БССР, 1961. – Вып. VI.
12. *Лихацевич, Н. А.* Типология дефляционноопасных земель Полесья и их использование / Н.А. Лихацевич, Ю. П. Качков, А. Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – № 2(47). – 2011. – С. 52–61.

CURRENT STATE OF SHELTERBELTS IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF BELARUS

M. M. Tsybulka, P. I. Valovich, H. M. Ustsinava, S. A. Kasyanchik, V. B. Tsyrybka

Summary

The article presents data on the quantity, sanitary condition, growth and development of shelterbelts in modern agricultural landscapes in areas with a high probability of water erosion and deflation processes. The directions of the formation of agroforestry-reclamation complexes through the organization of a system of protective plantings of different types and species on arable land, along roads, canals, etc., an increase in their protective functions and an increase in the level of protective forest cover of agricultural landscapes are indicated.

Поступила 09.12.19

ВЫНІКІ МАНІТОРЫНГУ СНЕЖНАГА ПОКРЫВА СХІЛАВЫХ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧЫХ ЗЯМЕЛЬ У РАННЕВЯСЕННІ ПЕРЫЯД

**В. Б. Цырыбка¹, Г. М. Усцінава¹, А. А. Міцькова¹,
С. А. Кас'янчык¹, Г. Э. Радзюк², А. В. Юхнавец¹, І. А. Лагачоў¹**

*¹Інстытут глебазнаўства і аграхіміі,
г. Мінск, Беларусь*

*²Універсітэт імя Мікалая Каперніка,
г. Тарунь, Польшча*

УВОДЗІНЫ

У цяперашні час даследаванні снежнага покрыва вельмі актуальныя, што знаходзіць адлюстраванне ў навуковай літаратуры. Асноўныя напрамкі пошукаў звязаны з метэаралогіяй, кліматалогіяй і экалогіяй. Вывучаецца размеркаванне снежнага покрыва, яго часовая дынаміка і асаблівасці складу як індикатара забруджвання прамысловых і гарадскіх тэрыторый [1–8].

Дадзеныя даследаванні маюць важнае значэнне, але не менш актуальнымі з'яўляюцца даследаванні снежнага покрыва і для аграрыяў. Для сельскай гаспадаркі снежнае покрыва – гэта запасы вады, неабходныя для раслін, гэта абарона ад вымярзання азімых збожжавых і шматгадовых траў, караневай сістэмы плодовых і ягадных культур, і ў той жа час патэнцыйная пагроза развіцця інтэнсіўных працэсаў эрозіі талымі водамі на схілавых землях [9–12].

Мэтай дадзенага даследавання з'явілася вывучэнне прасторавага размеркавання снежнага покрыва эрадаваных аграландшафтаў цэнтральнай і паўночнай глебава-экалагічных правінцый, яго якасных і колькасных характарыстык, а таксама ўзаемасувязь адталых вод з вільготнасцю глебы ў ранневясенні перыяд.

АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ

Аб'ектамі даследаванняў з'яўлялася снежнае покрыва схілавых зямель і дзярнова-падзолістыя легкасуглінкавыя глебы, сфармаваныя на лесападобных і марэнавых глебаўтваральных пародах, схільныя ў рознай ступені да эразійнай эградацыі, якія ўяўляюць сабой адзіныя ў геамарфалагічным дачыненні глебава-эразійныя катэны. На водападзельнай раўніне размешчана незрадаваная глеба, у верхняй частцы схілу – слаба- і сярэднеэрадаваная, у сярэдняй частцы – моцнаэрадаваная.

У ходзе даследаванняў былі апрацаваны дадзеныя снегамерных здымкаў за перыяд 2001–2019 гг.

Даследаванні снежнага покрыва праводзіліся на двух вопытных стацыянарах – «Браслаў» (ААТ «Мяжаны» Браслаўскага раёна Віцебскай вобласці) і «Стокавыя пляцоўкі» (ААТ «Шчомысліца» Мінскага раёна Мінскай вобласці) – у пачатку

раставання снегу, а вільготнасць глебы – на працягу трэцяй дэкады сакавіка і першай-другой дэкады красавіка.

Снегамная здымка праводзілася шляхам пракладання профіляў з выкарыстаннем вагавага снегамеру ВС-43 па агульнапрынятай у метэаралогіі методыцы, вільготнасць глебы вызначалася тэрмастатна-вагавым метадам, разлікі паказчыкаў былі праведзены па агульнапрынятых методыках [13, 14].

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

Вынікі маніторынгу вышыні снежнага покрыва ў першай дэкадзе сакавіка адлюстраваны ў табл. 1. Варта адзначыць, што ў 2001–2003, 2008, 2014–2017 гг. снег на аб'ектах даследаванняў у дадзены часовы прамежак адсутнічаў. Характарызуючы змены магутнасці слою снегу бачная тэндэнцыя хвалепадобных ваганняў вышыні з паступовым агульным зніжэннем. Датэчна ступеняў эрадаванасці найбольшая вышыня снегу характэрная для моцнаэрадаванай глебы на «Стокавых пляцоўках» і для намытай на стацыянары «Браслаў». Дадазеныя адрозненні абумоўлены формай, экспазіцыяй схілаў і ветравай абстаноўкай. Агульным з'яўляецца назапашванне снегу ў ніжняй частцы схілу.

Табліца 1

Вышыня снегу па выніках снегамернай здымкі, см

Глеба	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2018	2019	Сярэдняе
<i>Стокавыя пляцоўкі</i>												
Неэрадаваная	36	32	36	21	20	25	8	16	36	19	12	24
Слабаэрадаваная	32	26	35	20	23	30	9	14	43	22	9	24
Сярэднеэрадаваная	34	26	34	20	18	32	11	14	52	21	17	25
Моцнаэрадаваная	46	32	34	23	25	44	25	13	45	22	25	30
Намытая	45	28	44	23	17	25	8	17	41	19	–*	27
<i>Браслаў</i>												
Неэрадаваная	52	30	53	9	6	20	17	14	34	18	2	23
Слабаэрадаваная	43	35	45	11	9	26	19	17	39	15	2	24
Сярэднеэрадаваная	36	38	41	12	9	37	13	19	41	16	2	24
Моцнаэрадаваная	57	42	35	13	11	35	19	19	42	18	2	27
Намытая	65	53	58	14	14	42	20	25	44	14	–*	32

* У 2019 г. намытая глеба была пакрыта адталымі водамі.

Дадазеныя шчыльнасці снегу дазваляюць выявіць перыяд снегараставання. Згодна з літаратурнымі крыніцамі яго шчыльнасць да 0,35 г/см³ адпавядае перыяду пачатку снегараставання, 0,35–0,45 г/см³ – разгару, большыя велічыні характэрныя для перыяду завяршэння дадзенага працэсу [15–16]. Аналізуючы табл. 2, адзначаем тэндэнцыю паступовага павелічэння значэнняў гэтага паказчыка. Выбіваюцца паказчыкі стацыянара «Браслаў» за 2019 г.

Шчыльнасць снегу па выніках снегамернай здымкі, г/см³

Глеба	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2018	2019	Сярэдняе
<i>Стокавыя пляцоўкі</i>												
Неэрадаваная	0,23	0,30	0,34	0,35	0,36	0,35	0,52	0,34	0,28	0,40	0,54	0,36
Слабаэрадаваная	0,26	0,31	0,30	0,36	0,37	0,34	0,49	0,35	0,32	0,39	0,55	0,37
Сярэднеэрадаваная	0,22	0,29	0,26	0,37	0,38	0,35	0,52	0,35	0,30	0,36	0,52	0,36
Моцнаэрадаваная	0,25	0,31	0,30	0,32	0,36	0,31	0,44	0,32	0,33	0,37	0,44	0,34
Намытая	0,25	0,32	0,29	0,32	0,38	0,34	0,51	0,37	0,32	0,38	—*	0,35
Сярэдняе	0,24	0,31	0,30	0,34	0,37	0,34	0,50	0,35	0,31	0,38	0,51	0,36
<i>Браслаў</i>												
Неэрадаваная	0,22	0,33	0,37	0,48	0,54	0,33	0,58	0,35	0,26	0,56	0,31	0,39
Слабаэрадаваная	0,24	0,34	0,30	0,49	0,49	0,34	0,62	0,36	0,29	0,62	0,32	0,40
Сярэднеэрадаваная	0,24	0,37	0,32	0,40	0,45	0,32	0,57	0,38	0,28	0,55	0,26	0,38
Моцнаэрадаваная	0,27	0,35	0,29	0,39	0,41	0,32	0,41	0,29	0,28	0,39	0,25	0,33
Намытая	0,25	0,33	0,25	0,40	0,39	0,32	0,55	0,30	0,24	0,66	—*	0,37
Сярэдняе	0,24	0,34	0,31	0,43	0,46	0,33	0,55	0,34	0,27	0,56	0,29	0,37

* У 2019 г. намытая глеба была пакрыта адталымі водамі.

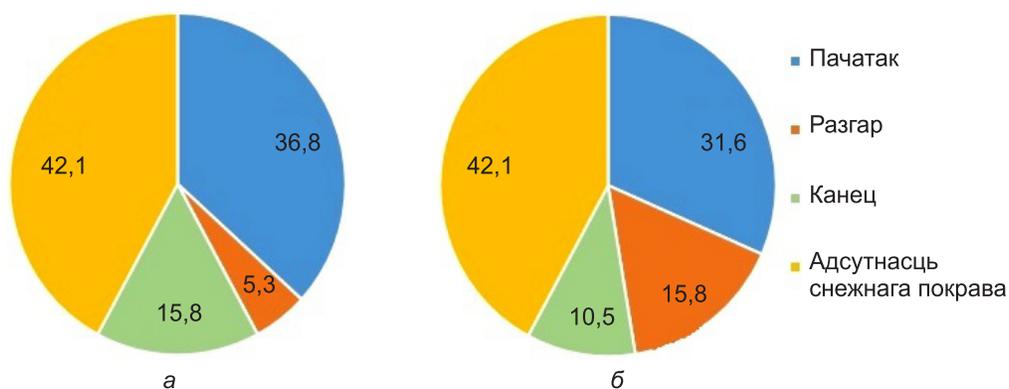
Невысокія значэнні абумоўлены тым, што большая частка снежнага покрыва растала, а новы пласт снегу быў сфармаваны адносна нядаўна.

Павелічэнне шчыльнасці снегу сведчыць аб змене часу пачатку снегараставання. Згодна агракліматычнаму даведніку ў другой палове ХХ стагоддзя сярэдні пачатак снегараставання ў цэнтральнай правінцыі прыходзіўся на 6 сакавіка, а ў паўночнай – на 11–12 сакавіка, па апошніх даследаваннях гэта трэцяя дэкада лютага і першая дэкада сакавіка адпаведна [17, 18]

Прыняўшы пад ўвагу сярэднія значэнні шчыльнасці снегу па схіле, былі атрыманы дадзеныя аб паўтаральнасці стадыі снегараставання на вывучаемых аб'ектах (мал. 1). Варта паказаць, што, нягледзячы на прыблізна аднолькавую колькасць выпадкаў пачатку снегараставання на абодвух стацыянарах, адзначаліся яны не заўсёды ў ідэнтычныя гады. Таксама істотна адрозніваецца паўтаральнасць перыядаў разгару і канца снегараставання. Прыкладна ў 1,5 разы часцей адзначалася стадыя завяршэння дадзенага працэсу ў Браслаўскім раене. Верагодна, гэта звязана з блізкасцю да Балтыйскага мора, паветраныя масы з якога прыносяць ападкі ў выглядзе дажджу, што паскарае працэс сходу снежнага покрыва.

Дадзеныя аб вышыні снежнага покрыва і яго шчыльнасці дазваляюць ацаніць запасы вады ў снезе, што важна для прагназавання эразійных працэсаў.

Запасы вады ў снезе, атрыманыя па выніках снегамернай здымкі, прадстаўлены ў табл. 3. Максімальныя запасы вады ў снезе адзначаны ў 2013 г. на «стокавых пляцоўках» і ў 2005–2006 гг. – на стацыянары «Браслаў», мінімальныя – у 2011 і 2009 гг. адпаведна.



Мал. 1. Паўтаральнасць стадый снегарастання на стацыянары, %:
а – «Браслаў»; б – «Стокавыя пляцоўкі»

Табліца 3

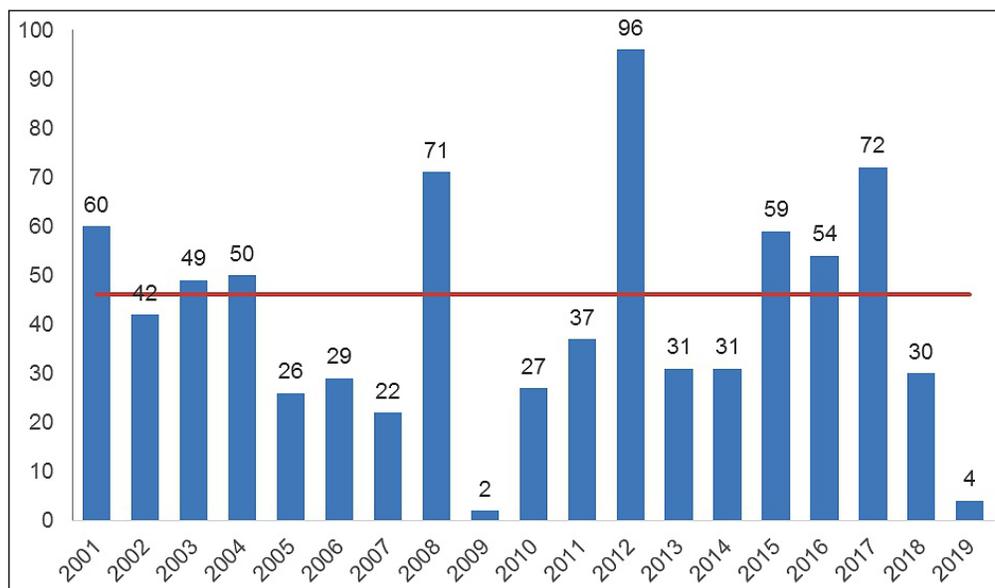
Запасы вады ў снезе па выніках снегамернай здымкі, мм

Глеба	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2018	2019	Сярэдняе
<i>Стокавыя пляцоўкі</i>												
Неэрадаваная	83	96	122	74	72	88	42	54	101	76	65	79
Слабаэрадаваная	83	81	105	72	85	102	44	49	138	86	50	81
Сярэднеэрадаваная	75	75	88	74	68	112	57	49	156	76	88	83
Моцнаэрадаваная	115	99	102	74	90	136	110	42	149	81	110	100
Намытая	113	90	128	74	65	85	41	63	131	72	—*	86
<i>Браслаў</i>												
Неэрадаваная	114	99	196	43	32	66	99	49	88	101	6	81
Слабаэрадаваная	103	119	135	54	44	88	118	61	113	93	6	85
Сярэднеэрадаваная	86	141	131	48	41	118	74	72	115	88	5	84
Моцнаэрадаваная	154	147	102	51	45	112	78	55	118	70	5	85
Намытая	163	175	145	56	55	134	110	75	106	92	—*	111

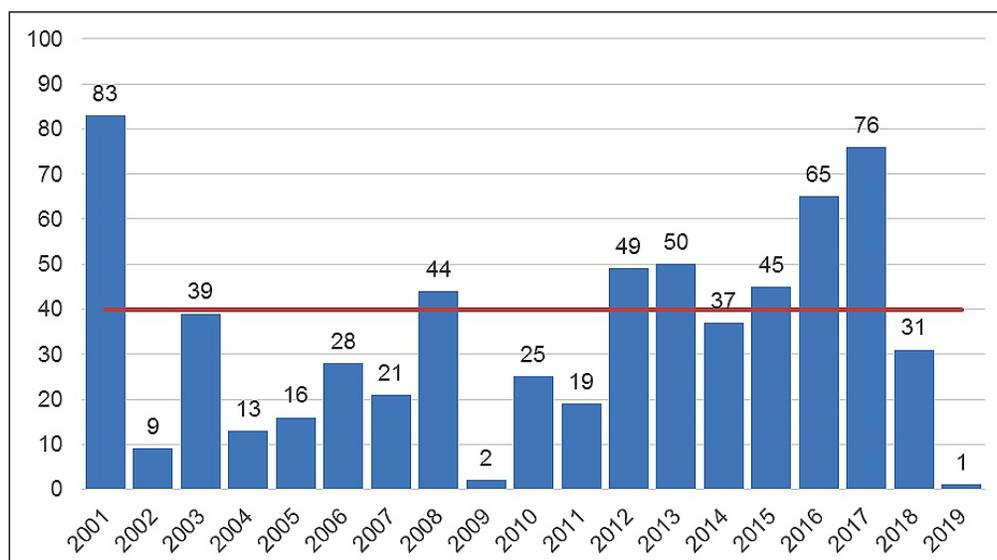
* У 2019 г. намытая глеба была пакрыта адталымі водамі.

Асабліва важную ролю запасы вады ў снезе маюць у сувязі з перыядычным недахопам ападкаў у красавіку. Так, згодна гісторыі метэаралагічных назіранняў у перыяд з 2001 па 2019 гг. 11 разоў сума месячных ападкаў у ім была менш за сярэднія шматгадовыя значэнні, роўныя 46 мм (мал. 2).

Такая ж перыядычнасць характэрна і для Браслава (мал. 3), што сведчыць аб высокай верагоднасці неспрыяльных умоў для росту і развіцця сельскагаспадарчых культур у перыяд пачатку вегетацыі, пацвярджаючы важнасць запасаў вільгаці, якія фармуецца за кошт адталай вады.



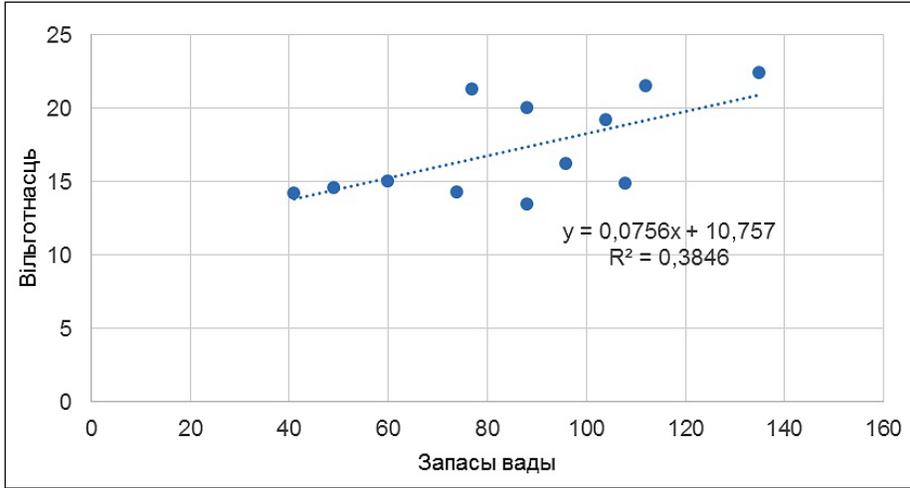
Мал. 2. Сума ападкаў за красавік на метэастанцыі Мінск у 2001–2019 гг., мм



Мал. 3. Сума ападкаў за красавік на метэастанцыі Даўгаўпілс у 2001–2019 гг., мм

На падставе шматгадовых дадзеных (2006–2019 гг.) маніторынгу вільготнасці эрадаваных глеб была вывучана ўзаемасувязь запасаў вады ў снезе і вільготнасці глебы на глыбіні 30–50 см, вынікі рэгрэсійнага аналізу, адлюстраваныя на мал. 4. Заканамернасць на дадзенай глыбіні даследавалася ў сувязі з тым, што вільготнасць ворнага гарызонту ў большай ступені схільная да ўплыву актуальных атмасферных ападкаў. Пры разліку не ўлічваліся гады без снегу на момант даследавання, а таксама 2019 г. для стацыянара «Браслаў» і 2008 г.

для «Стокавых пляцовак», што абумоўлена адсутнасцю ўстойлівага снежнага покрыва на момант здымкі і вельмі высокай сумай ападкаў (96 мм, больш чым у 2 разы адносна сярэдніх шматгадовых значэнняў) адпаведна. Значэнне каэфіцыента дэтэрмінацыі паказвае на існаванне залежнасці вільготнасці глеб ад запасаў вады ў снезе. Дадзеная заканамернасць пацвярджаецца літаратурнымі крыніцамі [19].



Мал. 4. Залежнасць вільготнасці (%) схілавых глебаў на глыбіні 30–50 см ад запасаў вады ў снезе (мм)

На схілавых землях снежнае покрыва акрамя пазітыўнага ўплыву мае і негатыўны. Магутнасць снежнага покрыва, глыбіня прамярзання глебы і інтэнсіўнасць снегараставання вызначаюць патэнцыйны слой сцeku і змыў глебавага драбна-зему. Выкарыстоўваючы вынікі снегамернай здымкі і дадзеныя аб стромкасці схілу, быў разлічаны максімальны прагназуемы сцек (табл. 4) па агульнапрынятай метадыцы [20].

Табліца 4

Прагназуемы слой сцeku па выніках снегамернай здымкі, мм

Глеба	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2018	2019	Сярэдняе
<i>Стокавыя пляцоўкі</i>												
Неэрадаваная	32	37	48	29	28	34	16	21	39	30	25	31
Слабаэрадаваная	32	32	41	28	33	40	17	19	54	34	20	32
Сярэднеэрадаваная	29	29	34	29	27	44	22	19	61	30	34	32
Моцнаэрадаваная	45	39	40	29	35	53	43	16	58	32	43	39
<i>Браслаў</i>												
Неэрадаваная	50	44	86	19	14	29	44	22	39	44	3	36
Слабаэрадаваная	45	52	59	24	19	39	52	27	50	41	3	37
Сярэднеэрадаваная	38	62	58	21	18	52	33	32	51	39	2	37
Моцнаэрадаваная	68	65	45	22	20	49	34	24	52	31	2	37

Аналіз дадзеных паказаў, што практычна заўсёды слой сцеку па схіле больш за 25 мм, што адпавядае вельмі моцнай інтэнсіўнасці, а такім чынам вялікаму патэнцыйнаму змыву глебы. Толькі ў асобныя гады прагнозна сцек ацэньваўся як ўмераны (10,1–15,0) і моцны (15,1–25,0 мм). Атрыманыя дадзеныя з’яўляюцца тыповымі для схілавых зямель Беларусі, што паказвае на неабходнасць мерапрыемстваў па супрацьэразійнай арганізацыі тэрыторыі і снегызатрыманню.

ВЫВАДЫ

Для абодвух стацыянараў характэрная тэндэнцыя да памяншэння вышыні снегу ў ранневясенні перыяд, а таксама пацвярджаецца трэнд на скарачэнне перыяду ўстойлівага снежнага покрыва. Найбольшая магутнасць і запасы вады характэрныя для 2004–2006, 2010 і 2013 гг.

Адзначаецца паступовае павелічэнне шчыльнасці снегу ў перыяд правядзення назіранняў, што сведчыць пра больш ранні пачатак снегараставання. У 42,1 % выпадкаў на перыяд першай дэкады сакавіка снежнае покрыва адсутнічала, а ў 10,5 % выпадкаў на стацыянары «Стокавыя пляцоўкі» і ў 15,8 % на стацыянары «Браслаў» працэсы раставання знаходзіліся ў завяршальнай фазе.

Больш чым у полове гадоў назіранняў у красавіку сума ападкаў была ніжэй сярэдніх шматгадовых значэнняў, дасягаючы вельмі нізкіх паказчыкаў у 2009 і 2019 гг. для стацыянара ў цэнтральнай глебава-экалагічнай правінцыі і ў 2002, 2004, 2009 і 2019 гг. – у паўночнай.

Інтэнсіўнасць сцеку на глебах схілавых зямель за перыяд назіранняў абумоўлівала актыўнае праходжанне эразійных працэсаў.

Недахоп атмасфернага жыўлення ў ранневясенні перыяд і высокая эразійная небяспека абумоўліваюць неабходнасць правядзення мерапрыемстваў снегызатрымання для больш працяглага захавання вільгаці ў глебе і зніжэння інтэнсіўнасці змыву верхняга ўрадлівага гарызонту глебы.

СПІС ЛІТАРАТУРЫ

1. Многолетний мониторинг снежного покрова в условиях природных и урбанизированных ландшафтов Москвы и Подмосковья / Л. Г. Богатырев [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2018. – № 2. – С. 85–96.
2. *Kutaev, L. M.* Многолетняя динамика снежности на северо-западе Русской равнины / Л. М. Китаев, Н. А. Володичева, А. Д. Олейников // Материалы гляциологических исследований. – 2007. – № 102. – С. 65–72.
3. *Kutaev, L. M.* Продолжительность залегания снежного покрова в Северной Европе / Л. М. Китаев [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 3. – С. 95–100.
4. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений / В. В. Попова [и др.] // Лед и снег. – 2015. – № 55. – С. 73–86.
5. *Kitaev, L.* Snow cover as an indicator of urban territories condition / L. Kitaev, E. Barabanova // Environmental indices: systems analyses, approach. – L.: EOLSS, 1999. – P. 412–418.

6. Химический состав снеговых и речных вод юго-восточного побережья оз. Байкал / Л. М. Сороковикова [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 5. – С. 71–83.
7. Григорьев, А. В. Особенности пространственного распределения химического состава снега на территории Москвы и Подмосковья / А. В. Григорьев // Летопись погоды, климата и экологии Москвы. – 2003. – Вып. 2. – С. 76–80.
8. Еремина, И. Д. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999–2006 гг. / И. Д. Еремина, А. В. Григорьев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2010. – № 3. – С. 85–60.
9. Суховеева, О. Э. Анализ влияния агроклиматических факторов на урожайность озимой ржи в Центральном Нечерноземье / О. Э. Суховеева // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 11. – С. 60–101.
10. Сиротенко, О. Д. Агрометеорологические аспекты оптимизации использования земельных ресурсов / О. Д. Сиротенко, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 12. – С. 84–96.
11. Владимиров, С. А. Ретроспектива изучения влияния климата на урожай сельскохозяйственных культур, как фактора устойчивого производства / С. А. Владимиров, А. Ю. Крыжко // Символ науки. – 2017. – № 4. – С. 31–34.
12. Израэль, Ю. А. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России / Ю. А. Израэль, О. Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6. – С. 5–18.
13. Копанев, И. Д. Методы изучения снежного покрова / И. Д. Копанев. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 226 с
14. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
15. Белолубцев, А. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод в условиях неустойчивых зим / А. И. Белолубцев, С. И. Чебаненко, И. С. Кочетов // Известия ТСХА. – 1997. – Вып. 3. – С. 48–57.
16. Комаров, В. Д. Расчет гидрографа половодья небольших равнинных рек на основе данных об интенсивности снеготаяния / В. Д. Комаров, Т. Т. Макарова, Е. С. Синегуб // Труды Гидрометцентра СССР. – 1969. – Вып. 37. – С. 3–30.
17. Агроклиматический справочник / М. А. Гольберг [и др.]; под ред. Н. А. Малишевской; М-во сел. хоз-ва БССР, Упр. гидрометеорол. службы БССР. – Минск: Ураджай, 1970. – 246 с.
18. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь [электронный ресурс] // В. Мельник [и др.]. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 23.09.2019.
19. Кабанов, П. Г. Погода и поле / П. Г. Кабанов. – Саратов: Приволжское книжное издательство, 1975 – 239 с.
20. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск: [б. и.], 2006. – 44 с.

THE RESULTS OF MONITORING THE SNOW COVER OF SLOPING AGRICULTURAL LANDS IN THE EARLY SPRING

V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, A. A. Mitskova, S. A. Kasyanchik,
G. E. Radzyuk, A. V. Yukhnovets, I. A. Lahachou

Summary

The article analyzes results of monitoring the snow cover of sloping lands experimental stations «Miazhany» and «Stokavyja pliacouki» for 2001–2019, the maximum potential runoff during snowmelt have estimated and the dependence of soil moisture at depths of 30–50 cm on water reserves in the snow have revealed.

Паступила 25.10.19

УДК 631.43:631.8:633.16

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

Е. Ю. Уваренко

*Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Из научной литературы известно об ухудшении условий минерального питания растений при переуплотнении почв [1, 2]. По данным Г. Н. Господаренко, питательные элементы выборочно поглощаются растениями из почвы, при этом их количество зависит от концентрации в ППК [3]. Применение удобрений улучшает питательный режим почвы и, соответственно, изменяет содержание питательных веществ в растениях [4–6]. Увеличение доз минеральных удобрений приводит к росту концентрации соответствующих элементов в растениях [7]. Содержание некоторых элементов питания зависит от биологических особенностей культуры, почвенно-климатических условий и других факторов, потому не является постоянной величиной [8].

Переуплотнение почвы приводит к торможению процессов усвоения элементов питания ячменем и снижению их концентрации в надземной части растения. Главной причиной уменьшения поглощения азота, фосфора и калия растениями при повышенной плотности сложения являются негативные изменения качественных и количественных характеристик корневой системы. С другой стороны, в чрезмерно рыхлой почве доступность элементов питания уменьшается за счет снижения их относительной концентрации в объеме почвы [9].

При повышенной плотности эффективность использования азота из почвы, особенно внесенного с удобрениями, и удобрений существенно снижается. На

уплотненной почве эффективность их использования ниже более чем в 3 раза по сравнению с оптимальным уровнем уплотнения почвы.

Повышенная плотность приводит к нарушению механизмов поглощения и трансформации питательных веществ, доставки и подачи их корневыми системами в надземную часть растений. Вследствие ухудшения воздушного режима, вызванного переуплотнением почвы, заметно затухают процессы нитрификации, снижается активность нитроредуктазы. В почве преобладает азот в аммонийной форме и, в случае длительного переувлажнения, активизируются процессы денитрификации [10].

Ученые из Великобритании исследовали взаимосвязь между уплотнением и содержанием азота в почве и его влияние на рост и развитие растений ячменя [11]. Установлено, что высокая плотность сложения почвы уменьшает общую длину корней на 23 %, площадь листовой поверхности – на 21 %, скорость поглощения азота на единицу корневой сухой массы – \approx на 50 % при дефиците азотного питания.

От плотности зависит также и фосфорный режим почв, доступность соединений фосфора для растений и эффективность фосфорных удобрений в целом. Повышение плотности снижает доступность фосфора для растений: во-первых, из-за ухудшения биологического режима (снижение численности микроорганизмов, разлагающих минеральные и органические формы фосфорных соединений и ферментов, стимулирующих процессы растворения фосфатов); во-вторых, из-за уменьшения размеров и ухудшения морфологии корневых систем.

В своих исследованиях D. L. Armstrong установил, что поглощение фосфора корнями растений требует энергии углеводов, которой необходим кислород для нормального обмена веществ [12]. При уплотнении почвы поровое пространство уменьшается, ограничивая содержание воздуха, при этом поглощение фосфора уменьшается. Ограничение использования P_2O_5 происходит также за счет уменьшения толщины водных пленок на частичках почвы, сквозь которые фосфор перемещается к поверхности корней.

Калий также является требовательным к степени уплотнения почвы. Согласно исследованиям В. В. Медведева и др. при повышенной плотности доступность калия для растений снижается из-за ухудшения параметров корневой системы, а в рыхлой почве – за счет снижения относительной концентрации этого элемента в объеме почвы [10]. По данным Z. Y. Murel в уплотненной почве за счет уменьшения аэрации доступность калия для растений снижается на 70 % [13].

Однако в научной литературе недостаточно информации по влиянию агрофизических параметров почвы (в частности, плотности сложения) на урожайность ячменя ярового различных по интенсивности сортов, на поглощение и усвоение элементов питания. В связи с широким использованием интенсивных и полуинтенсивных сортов ячменя ярового в земледелии Украины проведение исследований, направленных на изучение указанных вопросов, является крайне актуальным.

Таким образом, цель работы – изучить влияние плотности сложения пахотного слоя черноземной почвы на эффективность минеральных удобрений, вынос и использование основных элементов питания различными по интенсивности сортами ячменя ярового, а также оценить экономическую эффективность применения минеральных удобрений при различных уровнях уплотнения почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в условиях микрополевых опытов на территории опытного предприятия «Опытное хозяйство “Граковское”» в 2016–2017 гг. Почва опытного участка – чернозем типичный выщелоченный, развивающийся на лессовидных суглинках. Исходные показатели почвы в слое 0–30 см следующие: содержание физической глины (сумма фракций <0,01 мм) – 52,7 %; содержание гумуса по Тюрину (по ДСТУ 4289:2004) – 3,58 %; рН водный (по ДСТУ 7862:2015) и солевой (по ДСТУ 7910:2015) – 7,6 и 6,5 соответственно; содержание минерального азота (по ДСТУ 7862:2007) – 12,8 мг/кг почвы; содержание подвижных форм фосфора и калия по Чирикову (по ДСТУ 4115:2002) – 219,2 и 225,9 мг/кг почвы соответственно. Согласно действующей градации почва имеет низкий уровень обеспеченности общим азотом; высокий – по содержанию доступного фосфора и калия [15].

Полевой эксперимент проводился в Левобережной Лесостепи Украины с умеренно-континентальным климатом. За годы исследований средняя за вегетационный период температура ячменя ярового колебалась от +17,6 °С (2016 г.) до +16,1 °С (2017 г.) при среднем многолетнем показателе +16,9 °С. Сумма осадков составила 512,7 мм и 211,2 мм соответственно при средней многолетней норме 235 мм. В целом условия вегетационного периода 2016 г. характеризовались как чрезмерно увлажненные (ГТК = 2,4), 2017 г. – как засушливые (ГТК = 1,3).

В процессе исследований различные уровни уплотнения почвы (1,0; 1,2 и 1,4 г/см³) были созданы методом трамбовки на глубину пахотного слоя. Минеральные удобрения вносили в виде аммиачной селитры, суперфосфата простого и калийной соли в разных дозах во время посева культуры. Изучалось действие и последствие минеральных удобрений.

Исследуемая культура – ячмень яровой (интенсивный сорт «Взирець» и полунинтенсивный сорт «Здобуток», которые внесены в Государственный реестр сортов Украины). Площадь делянки – 1 м², повторность – 3-кратная. Схема и матрица планирования микрополевого опыта представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Схема микрополевого опыта

Факторы	Уровни варьирования факторов		
	0 (низкий)	1 (средний)	2 (высокий)
Плотность сложения почвы, г/см ³ (X ₁)	1,0	1,2	1,4
Доза NPK, кг/га действующего вещества (X ₂)	0	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀

Таблица 2

Матрица планирования микрополевого опыта

Факторы	Уровни варьирования факторов по вариантам								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X ₁	0	1	2	0	1	2	0	1	2
X ₂	0	0	0	1	1	1	2	2	2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень урожайности культуры является важным показателем эффективности применяемых агроприемов, а также одним из ключевых факторов, определяющих величину выноса основных элементов питания и коэффициента их использования из почвы.

Изучение влияния уплотнения почвы и различных доз минеральных удобрений на урожайность ячменя ярового показало, что максимальная прибавка по отношению к контролю (участки с природными показателями плотности почвы без внесения удобрений) получена при среднем уровне плотности сложения и составила: для интенсивного сорта – 3,5 т/га (вариант N₄₅P₄₅K₄₅) и 3,7 т/га (при внесении N₉₀P₉₀K₉₀); для полуинтенсивного сорта – 2,5 т/га и 3,4 т/га соответственно (табл. 3).

При оценке последствий удобрений отмечена аналогичная тенденция, однако размеры прибавки были значительно меньше: 0,5 и 0,7 т/га – для интенсивного и полуинтенсивного сортов соответственно. Причиной этого является недостаточное количество питательных элементов и значительное ухудшение условий увлажнения в период вегетации.

Таблица 3

Влияние плотности сложения почвы и минеральных удобрений на урожайность сортов ячменя ярового

Факторы		Действие NPK (2016 г.)				Последствие NPK (2017 г.)			
X ₁ , г/см ³	X ₂ , кг/га д.в.	интенсивный сорт		полуинтенсивный сорт		интенсивный сорт		полуинтенсивный сорт	
		урожайность, т/га	+ к контролю, т/га	урожайность, т/га	+ к контролю, т/га	урожайность, т/га	+ к контролю, т/га	урожайность, т/га	+ к контролю, т/га
Контроль		3,8	–	4,3	–	1,3	–	1,6	–
1,0	0	3,7	–0,1	4,5	0,2	1,4	0,1	1,7	0,1
1,2		4,5	0,7	4,7	0,4	1,8	0,5	1,8	0,2
1,4		3,5	–0,3	3,5	–0,7	1,2	–0,1	1,6	–0,1
1,0	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	6,9	3,1	6,6	2,3	1,7	0,4	1,7	0,1
1,2		7,3	3,5	6,9	2,5	1,7	0,5	2,3	0,7
1,4		6,4	2,6	6,3	2,0	1,2	–0,1	1,3	–0,3
1,0	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	6,6	2,8	7,4	3,1	1,8	0,5	1,9	0,3
1,2		7,5	3,7	7,7	3,4	1,8	0,5	2,3	0,7
1,4		6,4	2,6	7,1	2,7	1,5	0,2	1,6	0,1

Существенной разницы по величине урожайности изучаемых сортов ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений не отмечено, что дает возможность достичь повышения урожайности культуры при уменьшении техногенной нагрузки на окружающую среду и способствует ресурсосбережению и снижению себестоимости производства сельскохозяйственной продукции.

В ходе исследований установлено, что растения исследуемых сортов ячменя, независимо от уровней уплотнения, больше всего выносят из почвы калий в сравнении с остальными элементами питания. Прослеживается четкая тенденция снижения выноса основных элементов питания при повышении уровней уплотнения почвы (до 1,4 г/см³) на всех вариантах опыта (табл. 4).

**Вынос основных элементов питания урожаем сортов ячменя ярового
в зависимости от уровней плотности сложения почвы
на фоне действия и последействия минеральных удобрений**

Факторы		Вынос элементов питания, кг/га					
		интенсивный сорт			полуинтенсивный сорт		
X ₁ , г/см ³	X ₂ , кг/га д.в.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Действие NPK (2016 г.)</i>							
1	0	83,9	55,6	116,9	75,5	60,3	117,9
1,2		96,8	61,9	145,5	93,1	62,0	130,4
1,4		73,3	52,7	101,0	72,4	57,6	108,0
1	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	156,6	94,4	204,6	112,5	89,2	154,8
1,2		131,8	83,0	195,1	121,1	97,8	171,7
1,4		112,4	81,5	191,3	88,2	76,9	148,2
1	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	155,8	95,3	244,2	148,3	101,2	220,3
1,2		143,3	103,0	281,4	170,5	112,8	248,3
1,4		115,2	79,2	210,6	170,4	100,8	201,1
<i>Последействие NPK (2017 г.)</i>							
1	0	42,2	35,5	47,7	39,2	27,9	11,6
1,2		35,5	31,3	48,4	41,6	34,2	12,5
1,4		21,7	21,5	40,8	31,3	26,2	10,4
1	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	35,9	27,4	46,2	31,1	29,4	11,4
1,2		39,7	30,7	56,4	41,4	40,4	15,2
1,4		20,3	18,1	38,2	20,3	20,6	8,9
1	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	29,5	24,5	52,7	36,3	29,5	12,1
1,2		50,1	28,2	56,4	46,0	35,1	15,1
1,4		21,5	19,9	46,4	30,6	25,3	10,6

При выращивании интенсивного сорта на неудобренных вариантах со средним уровнем уплотнения вынос азота составил 96,8 кг/га, фосфора – 61,9 кг/га, калия – 145,5 кг/га. Внесение средних доз минеральных удобрений привело к росту выноса азота до 131,8 кг/га, фосфора – до 83,0 кг/га, калия – до 195,1 кг/га, что на 36,0; 34,5 и 34,0 % больше по сравнению с контролем без удобрений. В вариантах с высоким уровнем уплотнения почвы отмечено уменьшение выноса азота на 16,5 %, фосфора – на 2,0 %, калия – на 2,1 % по сравнению со средним уровнем плотности сложения. Внесение высоких доз минеральных удобрений при среднем уровне плотности сложения почвы способствовало увеличению выноса азота – на 8 %, фосфора – на 24 % и калия – на 4 % относительно средних доз NPK.

При выращивании полуинтенсивного сорта внесение N₄₅P₄₅K₄₅ при среднем уровне плотности способствовало повышению выноса азота (с 93,1 до 121,1 кг/га), фосфора (с 62,0 до 97,8 кг/га) и калия (с 130,3 до 171,6 кг/га) в сравнении с вариантами без удобрений. Внесение N₉₀P₉₀K₉₀ обеспечило высокие показатели выноса элементов питания: азота – 170,4 кг/га, фосфора – 112,8 кг/га, калия – 248,3 кг/га.

При изучении последействия минеральных удобрений выявлено значительное снижение выноса основных элементов питания урожаем интенсивного сорта по сравнению с их действием. Это связано со снижением содержания

элементов питания в почве: азота – с 42,2 до 21,7 кг/га, фосфора – с 35,5 до 21,5 кг/га, калия – с 48,4 до 40,8 кг/га на вариантах без удобрений при повышении уплотнения почвы с 1,0 до 1,4 г/см³.

На фоне последействия средних доз минеральных удобрений при высоком уровне уплотнения почвы зафиксировано снижение выноса элементов питания: азота – на 49 кг/га, фосфора – на 40,7 кг/га, калия – на 32,3 кг/га по сравнению со средним уровнем уплотнения. На фоне последействия высоких доз минеральных удобрений вынос азота, фосфора и калия снижался на 57 кг/га; 29,4 кг/га и 17,3 кг/га соответственно с ростом уплотнения почвы.

При выращивании полуинтенсивного сорта наибольший вынос азота (45,9 кг/га) отмечен при среднем уровне уплотнения на фоне последействия N₉₀P₉₀K₉₀, наименьший (15,2 кг/га) – при среднем уровне уплотнения почвы на фоне последействия N₄₅P₄₅K₄₅. В свою очередь, вынос фосфора колеблется в пределах от 20,5 кг/га (при высоком уровне уплотнения почвы) до 45,9 кг/га (при среднем уровне уплотнения).

Усвоение элементов питания определено по величине коэффициента использования элементов питания из почвы (Кп) – доля использования того или иного элемента питания относительно общего содержания их подвижных форм в пахотном слое на 1 га, выраженная в процентах.

Установлено, что возделывание ячменя ярового на уплотненной почве снижало использование элементов питания из почвы, по сравнению с низким уровнем уплотнения почвы: азота – на 4,0 % для интенсивного и 2,0 % для полуинтенсивного сортов; фосфора – на 3,4 % и 4,7 %; калия – на 10,7 % и 6,3 % соответственно (рис. 1).

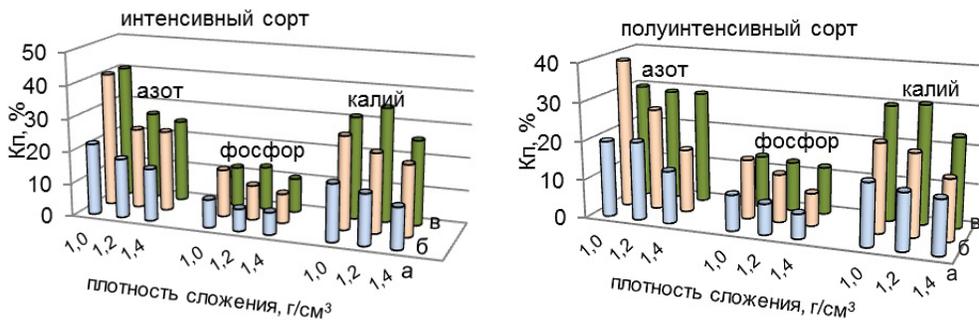


Рис. 1. Влияние плотности сложения почвы и различных доз удобрений на использование основных элементов питания из почвы сортами ячменя ярового:
а – без удобрений; б – N₄₅P₄₅K₄₅; в – N₉₀P₉₀K₉₀

При среднем уровне уплотнения зафиксировано максимальное значение этого коэффициента для азота: для интенсивного сорта – 20,9 %, 19,9 % – для полуинтенсивного.

Наибольший коэффициент отмечен в вариантах с низким уровнем уплотнения: фосфор – 9,1 % для интенсивного и 9,3 % для полуинтенсивного сортов; калий – 22,1 % и 17,2 % соответственно. Установлено, что при этом уровне плотности сложения ячмень интенсивного сорта потреблял больше элементов питания по сравнению с полуинтенсивным сортом: азота – на 17,0 %, калия – на 23,0 %.

Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению запасов питательных веществ в почве, что нашло отражение в увеличении коэффициента их использования. Для почвы со средним уровнем плотности сложения Кп азота и калия при внесении $N_{45}P_{45}K_{45}$ был выше в 1,8 раза по сравнению с вариантами без внесения удобрений. Использование фосфора интенсивным сортом было максимальным в почве при низком уровне уплотнения. При возрастании уровня уплотнения наблюдалось снижение коэффициента использования данного элемента.

При возделывании полуинтенсивного сорта Кп фосфора возрастал с повышением плотности сложения до среднего уровня. Внесение высоких доз удобрений способствовало увеличению Кп элементов питания в 2,2 раза по сравнению с вариантами без удобрений. При внесении средних доз минеральных удобрений существенной разницы не отмечено.

Результаты расчета коэффициента использования элементов питания из почвы (рис. 2) свидетельствуют о том, что на фоне последействия минеральных удобрений растения интенсивного сорта ячменя максимально использовали из почвы азот (10,9 % – на неудобренных вариантах; 9,6 % – на фоне последействия $N_{45}P_{45}K_{45}$; 10,7 % – на фоне последействия $N_{90}P_{90}K_{90}$), минимально – фосфор (3,9 %, 3,8 % и 3,5 % соответственно). При выращивании полуинтенсивного сорта культуры максимальное значение Кп получено для азота при среднем уровне уплотнения почвы: на фоне последействия $N_{45}P_{45}K_{45}$ – 8,9 %, на фоне последействия $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 9,9 %.

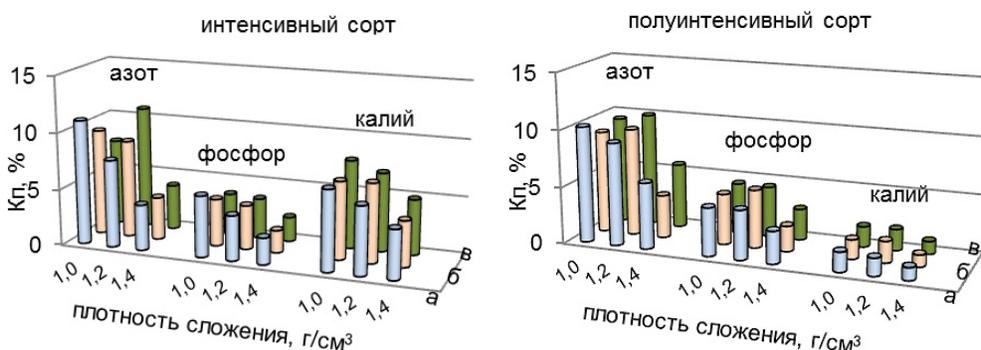


Рис. 2. Влияние плотности сложения почвы на использование основных элементов питания из почвы сортами ячменя ярового на фоне последействия минеральных удобрений:

а – без удобрений; б – последействие $N_{45}P_{45}K_{45}$; в – последействие $N_{90}P_{90}K_{90}$

Экономическая эффективность внесения минеральных удобрений при различных уровнях плотности почвы рассчитана на полученный прирост урожая. Оценка проводилась по условной дополнительной прибыли или убытку – разница между доходами и расходами на производство продукции, включающими затраты на посевной материал, стоимость удобрений и их внесение, на уборку и доработку урожая.

Результаты расчетов экономической эффективности (рис. 3) свидетельствует о том, что выращивание ячменя при средней плотности сложения почвы

(1,2 г/см³) способно обеспечить получение максимальной прибыли, которая составляет в среднем за период исследований 119,9 USD/га (для интенсивного сорта) и 79,8 USD/га (для полуинтенсивного сорта) при внесении N₄₅P₄₅K₄₅.

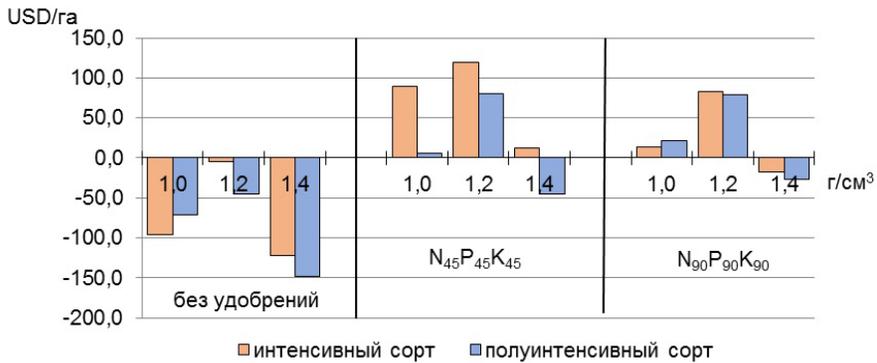


Рис.3. Влияние плотности сложения почвы и удобрений на условно чистый доход при возделывании сортов ячменя ярового

Внесение N₉₀P₉₀K₉₀ снизило прибыль до 82,7 и 79,0 USD/га по сравнению с внесением средних доз удобрений, т. к. расходы на покупку и внесение высоких доз удобрений выше. При выращивании культуры на переуплотненной почве (1,4 г/см³) прибавка урожайности по сравнению с контролем самая низкая, что привело к убыткам.

ВЫВОДЫ

В ходе исследований установлено влияние плотности сложения пахотного слоя чернозема типичного на вынос и использование основных элементов питания различными по интенсивности сортами ячменя ярового. Выявлена четкая тенденция снижения выноса основных элементов питания при повышении уровня уплотнения почвы. Полученные данные свидетельствуют о том, что при средней плотности почвы (1,2 г/см³) отмечается максимальное использование азота из почвы: коэффициент использования элемента составил 20,9 % и 19,9 % соответственно для интенсивного и полуинтенсивного сортов. Наибольший коэффициент использования фосфора (9,1 % и 9,3 %) и калия (22,1 % и 17,2 % для интенсивного и полуинтенсивного сортов соответственно) получен при низком уровне уплотнения. Внесение высоких доз удобрений способствовало увеличению использования элементов питания в 2,2 раза по сравнению с вариантами без удобрений. При внесении средних доз минеральных удобрений существенной разницы между значениями этого показателя не отмечено.

На фоне последействия минеральных удобрений растения интенсивного сорта ячменя ярового больше всего использовали из почвы азота (10,9 % – на неудобранных вариантах; 9,6 % – на фоне последействия N₄₅P₄₅K₄₅; 10,7 % – на фоне последействия N₉₀P₉₀K₉₀), меньше всего – фосфора (3,9 %, 3,8 % и 3,5 % соответственно). При выращивании полуинтенсивного сорта культуры наибольшее значение Кп получено для азота при среднем уровне уплотнения почвы: N₄₅P₄₅K₄₅ – 8,9 %, N₉₀P₉₀K₉₀ – 9,9 %.

Установлено, что максимальная прибавка урожая по отношению к контролю (участки с природными показателями плотности почвы без внесения удобрений) получена при среднем уровне плотности сложения и составила: для интенсивного сорта – 3,5 т/га (при внесении $N_{45}P_{45}K_{45}$) и 3,7 т/га (при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$); для полуинтенсивного сорта – 2,5 т/га и 3,4 т/га соответственно. При изучении последствий удобрений отмечена аналогичная тенденция, однако величина прибавки была меньше: 0,5 и 0,7 т/га – для интенсивного и полуинтенсивного сортов соответственно вследствие недостаточного количества элементов питания и засушливых условий вегетационного периода.

Выращивание ячменя при средней плотности сложения почвы ($1,2 \text{ г/см}^3$) способно обеспечить получение максимальной прибыли, которая составляет в среднем за период исследований 119,9 USD/га (для интенсивного сорта) и 79,8 USD/га (для полуинтенсивного сорта) при внесении $N_{45}P_{45}K_{45}$. На переуплотненной почве ($1,4 \text{ г/см}^3$) прибавка урожайности по сравнению с контролем невысокая, что привело к убыткам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липець, Є. Вплив щільності складення на ефективність засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів з ґрунту та добрив / Є. Липець, В. В. Медведєв, Т. Є. Линдіна // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 5. – С. 11–15.
2. Lipiec, J. Soil physical properties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils / J. Lipiec, I. Hakanson, S. Tarkiewich // Soil Tillage Res. – 1991. – № 19. – P. 307–317.
3. Господаренко, Г. М. Агрохімія: підручник / Г. М. Господаренко. – Киев: СІК ГРУП Україна, 2015. – 376 с.
4. Загороднюк, П. В. Ефективність мінеральних добрив при вирощуванні ярого ячменю та їх вплив на поживний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту / П. В. Загороднюк // Науковий вісник НАУ. – 2002. – № 48. – С. 253–257.
5. Найдин, П. Г. Географические особенности биологического выноса из почвы азота, фосфора и калия / П. Г. Найдин, И. В. Гулидова // Агрохимия. – 1969. – № 10. – С. 130–140.
6. Пилипенко М. О. Формування структури врожаю ярого ячменю залежно від умов мінерального живлення і норм висіву / М.О. Пилипенко // Науковий вісник НАУ. – 2000. – № 29. – С. 65–68.
7. Шевчук О. В. Вплив післядії різних систем удобрення на динаміку вмісту азоту в ґрунті, рослинах і зерні ячменю ярого / О. В. Шевчук // Вісник ХНАУ. – 2013. – № 1. – С. 135–139.
8. Агрохімія: підручник / І. М. Карасюк [та ін.]; за ред. І. М. Карасюка. – Киев: Вища шл., 1995. – 471 с.
9. Медведєв, В. В. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів / В. В. Медведєв, Є. Липець, Т. Є. Линдіна // Вісник аграрних наук. – 2002. – № 5. – С. 11–15.
10. Медведєв, В. В. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспект) / В. В. Медведєв, Т. Е. Линдіна, Т. Н. Лактионова. – Харьков: Изд. «13 типография», 2004. – 244 с.

11. *Bingham, I. J.* Soil compaction–N interactions in barley: Root growth and tissue composition / I. J. Bingham, A. G. Bengough, R. M. Rees // *Soil and Tillage Research*. – 2010. – Vol. 106, № 2. – P. 241–246.

12. *Armstrong, D. L.* Important factors affecting crop response to phosphorus / D. L. Armstrong // *Better Crops*. – 1999. – Vol. 81, № 1. – P. 16–19.

13. Murel, Z. J. What the consultant should know compaction / Z. J. Murel. – 1984. – Vol. 40, № 3. – P. 16–18.

14. *Кириченко, В. В.* Формування сортової структури зернових колосових культур за агроекологічним принципом / В. В. Кириченко, В. М. Костромітін, А. А. Корчинський // *Вісник аграрної науки*. – 2002. – № 4. – С. 26–28.

15. *Методичні вказівки з охорони ґрунтів / В. О. Греков [та ін.].* – Киев, 2011. – 108 с.

INFLUENCE OF BULK DENSITY OF CHERNOZEM SOIL ON MINERAL NUTRITION BY DIFFERENT SORTS OF SPRING BARLEY

E. Ya. Uvarenko

Summary

In the article there are shows the influence of the density of arable layer of chernozem soil on the removal and use of the main nutrients by different sorts of spring barley and their productivity; calculated the economic efficiency on application fertilizers at various levels of soil density. It is proved that a high level of soil compaction (1,4 g/cm³) leads to a decrease in the assimilation of nutrients by barley plants, which leads to a decrease in crop productivity.

Поступила 01.10.19

2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК [631.85+631.83]:[630*114.52:631.445.24]

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ФОСФОРНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПЛОДРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

**В. В. Лапа, Н. Н. Семененко, Е. Г. Мезенцева,
Н. Н. Ивахненко, А. А. Грачева**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси проблема повышения экономической и экологической эффективности использования земельных ресурсов и удобрений имеет первостепенное значение. Базой устойчивого развития аграрной отрасли и повышения ее эффективности является плодородие почв. Потому для его повышения и сохранения систематически проводится известкование и применяются органические и минеральные удобрения, на что тратятся значительные материальные и финансовые средства. За счет рационального применения удобрений на дерново-подзолистых почвах формируется до 50 % дополнительной прибавки урожая и повышается плодородие почв [1]. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что уже около 30 % обследуемой площади пашни Беларуси занимают высококультурные земли, часть из которых содержит более 800 мг/кг почвы подвижных соединений фосфатов и более 400 мг/кг почвы K_2O , это значительно превышает оптимальный уровень [2]. В то же время, как показывает анализ статистических данных, в отдельных сельхозпредприятиях, районах и областях периодически, особенно в последние годы (2016–2018 гг.), существенно снизились объемы применения удобрений. По сравнению с периодом 2011–2015 гг. они по стране составляют лишь 40 %. Наиболее значительный дефицит минеральных удобрений сложился в Витебской и Могилевской областях, где применение азотных сократилось на 40–44, фосфорных – на 76–80 и калийных – на 55–64 %. В этих областях применяемые на пашне дозы фосфорных удобрений достигли уровня 7 и 12 кг/га соответственно, а на лугах и пастбищах вообще не применяются. Исследованиями установлено, что уровень продуктивности пашни и луговых угодий, плодородия почв находится в тесной зависимости от применяемых доз минеральных и органических удобрений. Потому в этих областях ощущается наибольшее снижение продуктивности как пашни, так лугов и пастбищ, плодородия почв.

В связи с неизбежным постоянным повышением затрат на применение удобрений возрастает значимость разработки критериев сбалансированного (почва + удобрение) применения элементов минерального питания возделывае-

мых культур. Потому при разработке приемов устойчивого и эффективного развития агроценозов необходимо учитывать длительность эффективного действия минеральных удобрений. Важно отметить, что последствие азотных удобрений на последующие культуры незначительное. В наших исследованиях с применением изотопа азота N^{15} установлено, что почвой поглощается до 40 % азота при основном внесении всей дозы удобрения [3, 4]. Поглощенный азот удобрения очень интенсивно переходит в органические соединения. Через 30 суток в минеральной форме находилось только 3–5 % от внесенной дозы. Исследованиями ряда авторов установлено, что эта фракция азота слабо используется последующими культурами, так как она становится доступной растениям только после отмирания белковых тел микроорганизмов [5–7].

Результаты многочисленных исследований говорят о том, что фосфорные и калийные удобрения имеют важное свойство: пролонгированное действие, способность оказывать положительное влияние на условия минерального питания возделываемых культур не только в год внесения, но и в течение ряда последующих лет. Коэффициент использования внесенных фосфорных удобрений в первый год чаще всего, особенно на почвах повышенной и высокой обеспеченности фосфатами, не превышает 5–10 %. Только на почвах низкой обеспеченности фосфатами коэффициент использования фосфорных удобрений может достигать 15–20, а за севооборот – 40 %. Остаточное количество фосфатов удобрения поглощается в почве поверхностно сорбционно, оно представлено более доступными растениям соединениями (по химическому типу – с образованием разной степени растворимости и доступности растениям соединений полуторных окислов, кальция, магния, калия). Результаты исследований ряда авторов показывают, что последствие фосфорных удобрений может проявляться в течение нескольких десятилетий [8, 9]. Имеющиеся литературные данные по последствию калия не однозначны. Одни авторы утверждают, что последствие калийных удобрений может проявляться в течение 18–20 и более лет, а другие – 2–4 лет [10–14]. Таким образом, ожидаемое последствие разных видов минеральных удобрений существенно различается.

Цель исследований – установить длительность последствия остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период, на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в период 1986–2018 гг. в два этапа в длительном стационарном полевом опыте в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 30–50 см песком. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта в 1986 г. характеризовался следующими усредненными показателями: pH_{KCl} – 5,8, содержание P_2O_5 – 94, K_2O – 225 мг/кг почвы, гумус – 2,1 %.

В первый этап (1986–1998 гг.) ставилась цель – за счет известкования, применения органических и минеральных удобрений в трех ротациях культур зернопропашного севооборота довести агрохимические свойства, прежде всего содержание подвижных форм фосфатов, исследуемых почв до оптимального уровня. Суммарная доза внесенных органических удобрений в виде навоза КРС за весь период составила 120 т/га и больше органические удобрения не вноси-

лись. Среднегодовые показатели внесения удобрений (т/га, кг/га д. в.), продуктивности культур (ц/га к. ед.) и изменения в содержании подвижных соединений фосфора и калия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние удобрений на продуктивность и изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве (за период 1986–1998 гг.)

№ варианта опыта	Среднегодовое внесение удобрений, т, кг/га д. в.	Среднегодовая продуктивность, ц/га к. ед.	Изменения содержания в почве, мг/кг					
			P ₂ O ₅			K ₂ O		
			1986 г.	1998 г.	+/- к исх.	1986 г.	1998 г.	+/- к исх.
1	Без удобрений	37,1	90	101	+11	227	148	-79
2	Навоз КРС, 10 т/га – Фон	41,1	82	108	+26	244	189	-55
3	Фон – N ₈₄ P ₆₁ K ₉₈	63,1	92	176	+84	210	215	+ 5
4	Фон – N ₇₉ P ₆₂ K ₉₈	61,9	100	173	+73	236	228	- 6
5	Фон – N ₈₇ P ₂₉ K ₉₈	57,1	93	154	+56	231	230	-8
6	Фон – N ₈₇ P ₆₁ K ₉₈	65,4	90	161	+71	224	218	-6
7	Фон – N ₈₂ P ₆₀ K ₉₈	61,0	112	166	+54	203	207	+4

Из приведенных данных видно, что внесением минеральных в дозе 240–245 кг/га д. в. NPK на фоне органических удобрений обеспечивается среднегодовая продуктивность культур севооборотов на уровне 61–65 ц/га к. ед., повышается содержание подвижных соединений фосфора в среднем на 72, достигая уровня 166–176 мг/кг почвы и сохраняется высокий уровень содержания калия (207–228 мг/кг почвы). При недостаточном внесении фосфорных удобрений (вариант 5, в среднем 29 кг/га P₂O₅) продуктивность культур снижается на 4–8 ц/га к. ед., меньше накапливается в почве подвижных соединений фосфора.

Во второй период исследований (1999–2018 гг.) в опыте планировалось установить длительность последействия остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период, на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы. Следовало установить время, за которое почва по содержанию фосфора и калия возвращается в исходное состояние (1986 г.). С целью изучения длительности последействия и действия внесенных удобрений в схеме опыта были предусмотрены варианты внесения полного (NPK), а также с исключением азотных (PK), фосфорных (NK) и калийных (NP) удобрений.

В этот период в опыте чередование культур было следующим: вико-овсяная смесь (1999) – озимое тритикале (2000) – люпин (2001) – картофель (2002) – ячмень (2003) – горохо-овсяная смесь (2004) – озимое тритикале (2005) – люпин (2006) – ячмень (2007) – горохо-овсяная смесь (2008) – озимое тритикале (2009) – овес (2010) – яровой рапс (2011) – яровая пшеница (2012) – горохо-овсяная смесь (2013) – озимая пшеница (2014) – ячмень (2015) – яровой рапс (2016) – горохо-овсяная смесь (2017) – кукуруза (2018).

Из удобрений применялась аммиачная селитра или мочевины, двойной суперфосфат и калий хлористый. Дозы и сочетания видов удобрений по пятилеткам (ротациям) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Схема опыта и распределение удобрений по ротациям севооборотов (1999–2018 гг.)

Вариант опыта	Средние дозы NPK по ротациям севооборотов, кг/га				Внесено NPK, кг/га	
	1999– 2003 гг.	2004– 2008 гг.	2009– 2013 гг.	2014– 2018 гг.	сумма за 20 лет	в среднем за год
1. Без удобрений (контроль)	–	–	–	–	–	–
2. П. д.* наво- за – фон	–	–	–	–	–	–
3. Фон + РК	P ₄₀ K ₂₃	P ₄₀ K ₈₀	P ₄₀ K ₉₆	P ₄₈ K ₁₂₄	P ₈₄₀ K ₁₂₁₅	P ₄₂ K ₉₆
4. Фон + NP (п. д. калия)	N ₆₄ P ₄₀	N ₆₂ P ₄₀	N ₉₆ P ₄₀	N ₁₀₂ P ₄₆	N ₁₆₂₀ P ₈₃₀	N ₈₁ P ₄₂
5. Фон + NK (п. д. фосфора)	N ₆₄ K ₈₃	N ₆₂ K ₈₁	N ₉₈ K ₉₆	N ₉₈ K ₁₁₈	N ₁₆₁₀ P ₁₃₉₀	N ₈₁ K ₉₅
6. Фон + N (п. д. фосфора и ка- лия)	N _{64,3}	N _{62,2}	N ₉₈	N ₁₂₀	N ₁₇₂₂	N _{86,1}
7. Фон + NPK	N ₆₄ P ₂₆ K ₈₃	N ₅₀ P ₃₄ K ₃₁	N ₉₈ P ₄₀ K ₉₆	N ₁₀₈ P ₄₆ K ₁₁₈	N ₁₆₀₀ P ₇₃₀ K ₁₈₉₀	N ₈₀ P ₃₇ K ₉₅

* П. д. – последствие.

Опыт заложен в одном поле. Общий размер делянки – 49,5 м² (5,5 м · 9,0 м).

Агротехника возделывания культур – рекомендуемая для центральной зоны на супесчаных почвах в соответствии с отраслевыми регламентами и рекомендациями [15–20].

В растительных образцах определены содержание общего азота (ГОСТ 13496.4-93), фосфора (ГОСТ 26657-85) и калия (ГОСТ 30504-97).

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713-85, общего фосфора – по ГОСТ 26717-85; общего калия – по ГОСТ 26718-85.

В почвенных образцах содержание фосфора и калия определяли по методу Кирсанова – ГОСТ 26487-85, органическое вещество в почве определяли по Тюрину в модификации ЦИНАО – ГОСТ 26213-84.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием соответствующих программ пакета MS Excel [21].

Погодные условия по годам в период проведения исследований существенно различались, что отражалось на уровне урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности применяемых удобрений. Более благоприятные по гидротермическим условиям были 2000, 2004, 2005, 2009, 2012, 2013 и 2017 гг. В эти годы при внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений по полной потребности сбор кормовых единиц достигал 75–111 ц/га. Менее благоприятные (недостаток или избыток влаги, низкие или высокие температуры в отдельные периоды вегетации культур) были – 1999, 2001, 2002, 2006, 2008–2010, 2014–2016 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенные в табл. 3 результаты исследований показывают, что среднегодовая (из 20 лет) продуктивность культур за счет сформированного плодородия почвы составила 32,8 ц/га к. ед. В зависимости от состава культур по ротациям севооборота и погодных условий выход кормовых единиц колебался в пределах от 30,3 до 36,9 ц/га. От последствия применения органических удобрений полученная прибавка недостоверна (6 % к контролю). Однако во все годы исследования она имела место быть (+1,3–2,9 ц/га к. ед.). Вероятно, применение органических служит благоприятным агробиологическим фоном для более эффективного проявления действия минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур.

В среднем за 20 лет исследования самая высокая продуктивность исследуемых культур – 59,6 ц/га к. ед. получена при внесении полного удобрения $N_{80}P_{37}K_{95}$ на фоне последствия навоза. Прибавка к фону от внесения удобрения составила 24,9 ц/га к. ед., или 82 % к контролю. В зависимости от погодных условий и состава культур за ротацию прибавка продуктивности от внесенных удобрений колебалась от 50 % (1999–2003 гг.) до 110 % от общей. Более низкие уровни общей продуктивности и прибавки получены от внесения парных комбинаций и азотных удобрений. Среднегодовая прибавка продуктивности от внесения удобрений составила: $N_{81}P_{42}$ – 19,7; N_{86} – 16,1; $N_{81}K_{95}$ – 15,2 и $P_{42}K_{96}$ – 11,1 ц/га к. ед.

Таблица 3

Средняя продуктивность культур севооборотов, ц/га к. ед.

Система удобрения (среднегодовые дозы NPK)	Годы исследований						Прибавка к контролю ц/га %	
	1999–2003	2004–2008	2009–2013	2014–2018	Среднее за 20 лет			
	1. Без удобрений (контроль)	32,0	36,9	30,3	32,2	32,8	–	–
2. П. д.* навоза – Фон	33,9	39,8	31,6	33,5	34,7	1,9	6	
3. Фон + $P_{42}K_{96}$	41,6	55,5	43,1	42,8	45,8	13,0	40	
4. Фон + $N_{81}P_{42}$ (п. д. калия)	46,2	61,3	58,0	52,1	54,4	21,6	66	
5. Фон + $N_{81}K_{95}$ (п. д. фосфора)	44,9	59,0	48,7	46,9	49,9	17,1	52	
6. Фон+ $N_{86,1}$ (п. д. фосфора и калия)	46,3	55,6	55,7	42,3	50,8	18,0	55	
7. Фон + $N_{80}P_{37}K_{95}$	48,0	65,7	63,5	61,0	59,6	26,8	82	
HCP_{05}	1,9	2,1	2,2	1,8	–	–	–	

Это значит, что при последствии калийных удобрений и, как следствие, недостаточном калийном питании, урожайность в сравнении с вариантом NPK снижается на 5,2 ц/га к. ед., или на 9 %. Внесение только азотных удобрений (дефицит фосфора и калия в почве) приводит к снижению урожайности на 8,8 ц/га к. ед., или на 15 %. Недостаточное фосфорное питание при последствии фосфорных удобрений (вариант НК) приводит к снижению продуктивности культур на 16 % и недобору в среднем 9,7 ц/га к. ед. Наибольшее снижение продуктивности культур происходит в варианте без внесения азотных удобрений, которое в среднем составляет 13,8 (23 %), а в более благоприятные годы – 18,2–20,4 ц/га к. ед. Это значит, что на каждый килограмм азота удобрений недобираем около 20 к. ед., или на 1 рубль затрат на применение азотных удобрений теряется прибыль на уровне

10–12 рублей. Таким образом, по своему негативному влиянию на продуктивность сельскохозяйственных культур элементы минерального питания расположились в следующей последовательности: дефицит азота приводит к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур – на 13,8; фосфора – на 9,7; суммы фосфора и калия – на 8,8; калия – на 5,2 ц/га к. ед.

Дефицит того или иного элемента минерального питания в применяемых в опыте системах удобрения оказывает существенное влияние на агрохимическую деградацию и плодородие почв. Анализ данных динамики содержания в почве подвижных соединений фосфора, связанной с последствием внесенных ранее фосфорных удобрений, показывает (табл. 4, 5 и рис. 1, 2), что оно изменяется во времени и зависит от внесенных удобрений.

Таблица 4

Динамика содержания подвижных соединений фосфора в почве, мг/кг

Вариант	1998 г.	1999–2003 гг.	2004–2008 гг.	2009–2013 гг.	2014–2018 гг.	2019–2023 гг. (прогноз)
1. Без удобрений (контроль)	101	100	98	78	76	65
2. Фон* + N ₈₁ K ₉₅ (п. д. фосфора)	154	140	124	96	85	77
3. Фон* + N ₈₆ (п. д. фосфора)	166	130	117	89	78	62
4. Фон* + N ₈₀ P ₃₇ K ₉₅	161	157	152	145	142	140

* Последствие навоза.

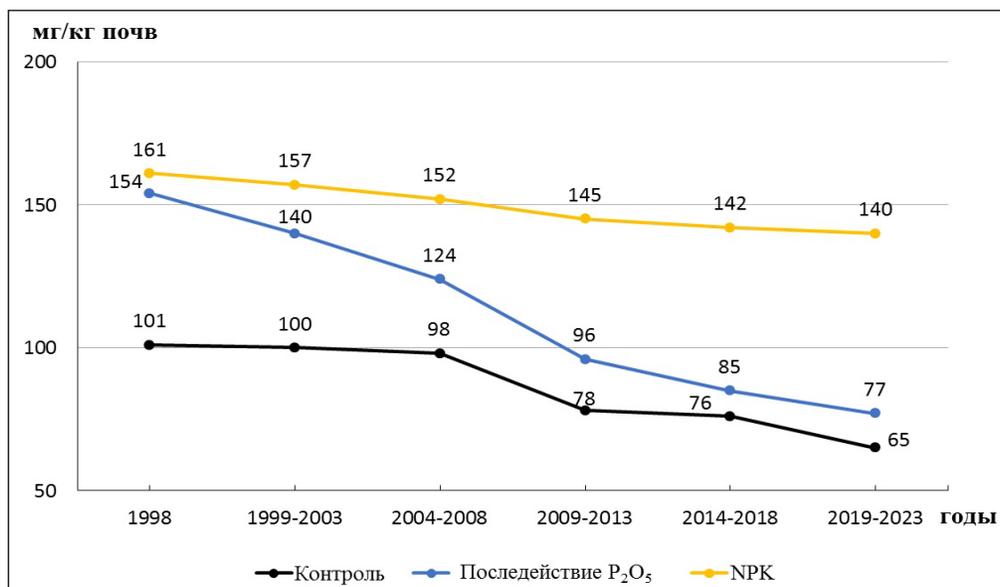


Рис. 1. Динамика содержания подвижных соединений фосфора в почве, мг/кг.

В варианте без внесения удобрений (контроль) содержание фосфатов в почве снизилось до исходного уровня (90 мг/кг почвы) через 10, а в вариантах 2, 3 (последствие фосфорных удобрений) – через 15 лет. При этом более интенсивное снижение содержания подвижного фосфора в почве отмечается в варианте с внесением только азотных удобрений. С течением времени – 20 и 25 (прогноз)

лет – последействия фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора в почве снижается ниже исходного уровня, достигая 62–77 мг/кг почвы. Между временем последействия внесенных фосфорных удобрений и снижением содержания подвижных соединений фосфора в почве установлена тесная корреляционная связь, описываемая соответствующим уравнением регрессии (рис. 2):

$$Y = -16,5 x + 170,5, R^2 = 0,97,$$

где y – содержание подвижных соединений фосфора в почве, мг/кг; x – количество годов после внесения фосфорных удобрений.

В то же время между динамикой изменения продуктивности культур (табл. 5, рис. 2), временем последействия фосфорных удобрений и содержанием подвижных форм фосфора в почве установлена слабая связь ($R^2 = 0,39$). Можно утверждать лишь о тенденции снижения продуктивности культур при возрастании времени последействия внесения фосфорных удобрений. Это подтверждает аксиому, что продуктивность культур – функция многих факторов и величина ее зависит не только от уровня содержания подвижного фосфора в почве.

Таблица 5

Динамика изменения продуктивности культур и содержания фосфатов в почве в последействии внесения фосфорных удобрений (вариант: фон + $N_{81}K_{95}$)

Показатель	1998 г.	1999–2003 гг.	2004–2008 гг.	2009–2013 гг.	2014–2018 гг.	2019–2023 гг. (прогноз)
Продуктивность, ц/га к. ед.	57,1	44,9	59,0	48,7	46,9	42
Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	154	140	124	96	85	77

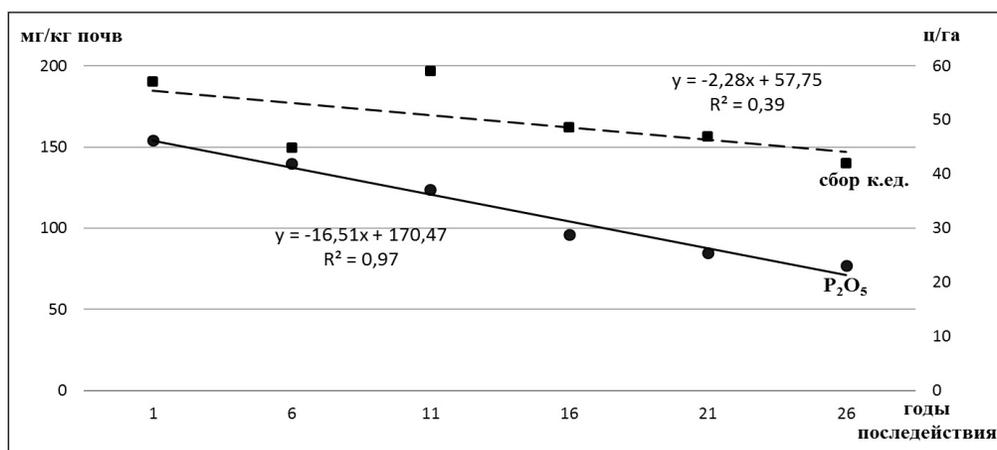


Рис. 2. Зависимость динамики изменения продуктивности культур и содержания фосфатов в почве от времени последействия внесенных фосфорных удобрений (вариант: фон + $N_{81}K_{95}$)

При внесении полного удобрения в дозах $N_{80}P_{37}K_{95}$ также отмечается снижение содержания подвижных соединений фосфора в почве, которое за 25 лет составило 21 мг/кг почвы, или около 1 мг/год. В то время как в варианте без внесения фосфорных удобрений оно составило 3, а при внесении только азотных –

4 мг/год, т.е. в три-четыре раза больше. Из приведенных данных в табл. 1 видно, что внесение фосфорных удобрений в дозе 60 кг/га P_2O_5 способствовало ежегодному накоплению в почве 4,5 мг/кг. Значит, для бездефицитного применения фосфорных удобрений их доза для получения продуктивности 60 ц/га к. ед. должна была составлять около 50 кг/га P_2O_5 .

Анализ приведенных в табл. 6 и на рис. 3, 4 данных показывает, что содержание подвижного калия в супесчаной почве по всем вариантам систем удобрения в условиях опыта снижается более динамично, чем содержание фосфатов. В варианте 2 (табл. 6) без внесения калийных удобрений уже через 5 лет содержание калия в почве снизилось на 68 мг/кг почвы, или на 30 % к исходному состоянию. Через 15 лет последствия калийных удобрений (варианты 2, 3) содержание калия в почве достигло уровня контроля, т. е. варианта, в котором не вносились удобрения почти 35 лет. Расчеты показывают, что без применения калийных удобрений содержание подвижного калия в почве стремительно снижается и через 25 лет последствия может приблизиться к состоянию, характерного для почв под естественной растительностью (лесом).

Таблица 6

Динамика содержания подвижных форм калия в почве, мг/кг

Вариант	1998 г.	1999–2003 гг.	2004–2008 гг.	2009–2013 гг.	2014–2018 гг.	2019–2023 гг. (прогноз)
1. Без удобрений (контроль)	148	116	85	69	62	41
2. Фон* + $N_{81}P_{42}$ (п. д. калия)	228	160	96	71	63	38
3. Фон* + $N_{86.1}$ (п. д. калия)	218	144	109	78	65	40
4. Фон* + $N_{80}P_{37}K_{95}$	207	196	153	139	120	71

* Последствие навоза.

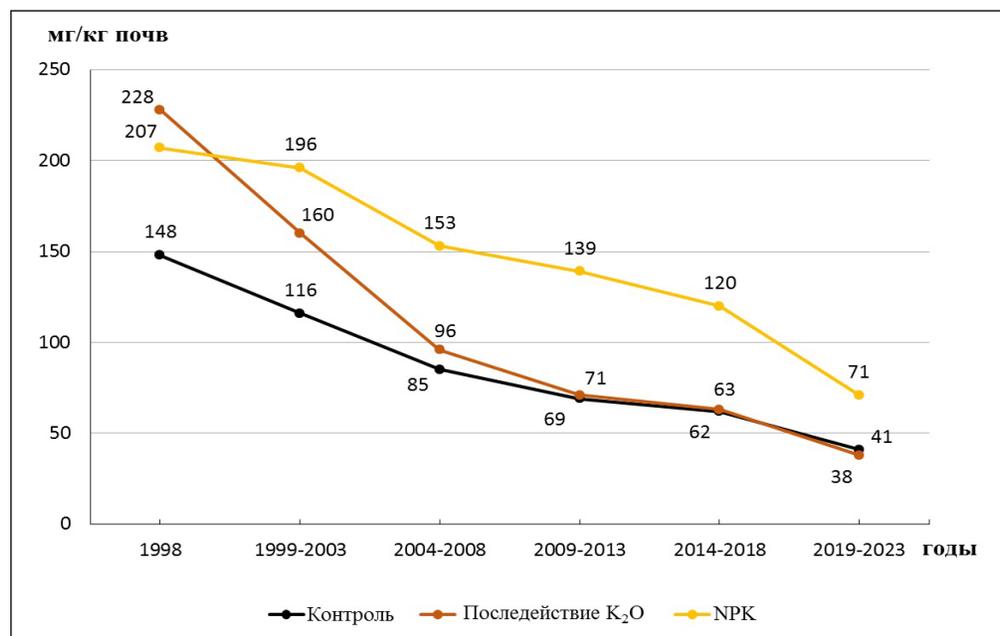


Рис. 3. Динамика содержания подвижных форм калия в почве, мг/кг

Между временем последействия внесенных калийных удобрений и снижением содержания подвижных соединений калия в почве установлена тесная корреляционная связь, описываемая соответствующим уравнением регрессии (рис. 4):

$$Y = -202,2 x^{-1,056}, R^2 = 0,99,$$

где y – содержание подвижных соединений калия в почве, мг/кг; x – количество годов после внесения калийных удобрений.

В то же время между динамикой изменения продуктивности культур (табл. 7, рис. 4), временем последействия калийных удобрений и содержанием подвижных соединений калия в почве связи не установлено ($R^2 = 0,25$). Можно утверждать лишь о тенденции снижения продуктивности культур при возрастании времени последействия внесения калийных удобрений. Это еще раз подтверждает аксиому, что продуктивность культур – функция многих факторов и величина ее зависит не только от уровня содержания подвижного калия в почве.

Таблица 7

Динамика изменения продуктивности культур и содержания K_2O в почве в последействии удобрений (вариант: фон + $N_{81}P_{42}$, последействие калия)

Показатель	1998 г.	1999–2003 гг.	2004–2008 гг.	2009–2013 гг.	2014–2018 гг.	2019–2023 гг. (прогноз)
Продуктивность, ц/га к. ед.	61,9	46,2	61,3	58,0	52,1	45,2
Содержание K_2O , мг/кг почвы	228	160	96	71	63	38

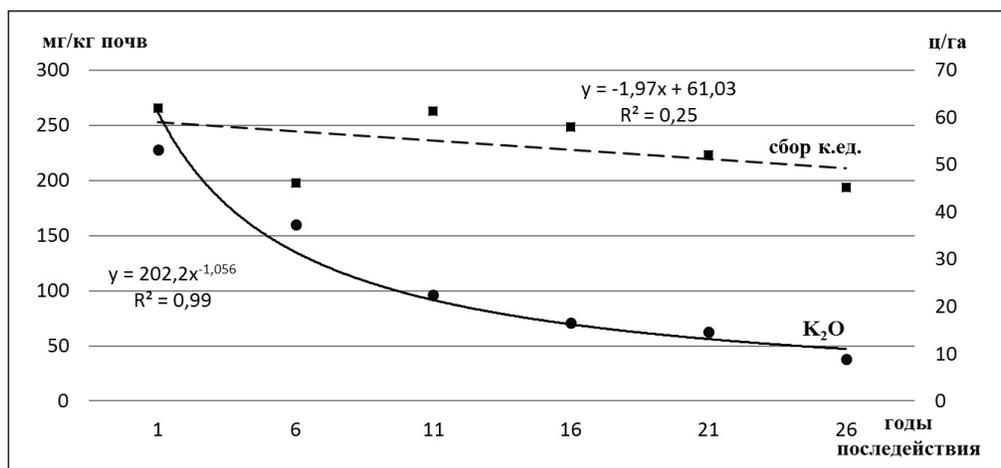


Рис. 4. Зависимость динамики изменения продуктивности культур и содержания K_2O в почве от времени последействия удобрений (вариант: фон + $N_{81}P_{42}$, последействие калия)

Исходя из представленных выше результатов исследований, следует отметить, что и при внесении во все годы полного удобрения (вариант: фон + $N_{80}P_{37}K_{95}$) через 10 лет содержание подвижного калия в почве снизилось на 54 мг/кг, или на 26 % к исходному (оптимальному) уровню. Расчеты показывают, что внесение

средней по севообороту дозы калийных удобрений (равной 95 кг/га K_2O) через 20 лет привело к снижению содержания подвижного калия в почве более чем в 2, а через 25 лет – в 3 раза (пройдя путь от оптимального – 207 до очень низкого уровня – 71 мг/кг почвы). Средние ежегодные потери подвижного калия в почве составляют более 5 мг/кг. В связи с чем напрашивается вывод, что для поддержания положительного баланса содержания калия в супесчаной почве и получения приведенной выше продуктивности сельскохозяйственных культур необходимо применять дозы калийных удобрений на уровне 120–130 кг/га д. в.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве без применения удобрений в течение 20 лет (1999–2018 гг.) среднегодовая продуктивность составила 32, 8 ц/га к. ед. при снижении содержания в почве подвижных форм фосфора на 40 (на 2 мг/кг ежегодно) и калия – на 86 (4,3 мг/кг ежегодно). От последствий применения органических удобрений полученная прибавка (+1,3–2,9 ц/га к. ед.) недостоверна. При внесении полного удобрения $N_{80}P_{37}K_{95}$ на фоне последствий навоза получена наиболее высокая средняя продуктивность исследуемых культур – 59,6 ц/га к. ед. Прибавка к фону от внесения удобрения составила 24,9 ц/га к. ед., или 82 % к контролю. Более низкие уровни прибавок получены от внесения парных комбинаций и азотных удобрений: $N_{81}P_{42}$ –19,7; N_{86} –16,1; $N_{81}K_{95}$ – 15,2 и $P_{42}K_{96}$ – 11,1 ц/га к. ед. Это значит, что дефицит азота приводит к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур на 13,8; фосфора – на 9,7; суммы фосфора и калия – на 8,8 и калия – 5,2 ц/га к. ед.

2. Длительный дефицит того или иного элемента минерального питания в применяемых в опыте системах удобрения оказывает существенное влияние на агрохимическую деградацию и плодородие почв:

А) Динамика содержания в почве подвижных соединений фосфора, связанная с последствием внесенных ранее фосфорных удобрений, изменяется во времени и зависит от внесенных удобрений. В вариантах с последствием фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора в почве снизилось до исходного уровня (90 мг/кг почвы) через 15, а через 20 и 25 (прогноз) лет опустится ниже исходного уровня и составит только 62–77 мг/кг почвы. Ежегодные потери подвижного фосфора составляют около 3 мг/кг почвы в год. Между временем последствия внесенных фосфорных удобрений и снижением содержания подвижных соединений фосфора в почве установлена тесная корреляционная связь, описываемая соответствующим уравнением регрессии:

$$Y = -16,5 x + 170,5, R^2 = 0,97,$$

где y – содержание подвижных соединений фосфора в почве, мг/кг; x – количество годов после внесения фосфорных удобрений.

Б) Содержание подвижного калия в супесчаной почве по всем вариантам систем удобрения в условиях опыта снижается более динамично, чем содержание фосфатов. В варианте последствий калийных удобрений уже через 5 лет содержание калия в почве снизилось на 68 мг кг почвы, или на 30 % к исходному состоянию, а через 15 лет достигло уровня контроля, т. е. варианта, в котором

не вносились удобрения почти 35 лет. Через 20 лет последействия калийных удобрений содержание калия в почве снизилось на 165, а через 25 – до уровня целинного аналога. Средние ежегодные потери подвижного калия составили около 8 мг/кг почвы в год. Между временем последействия внесенных калийных удобрений и снижением содержания подвижных соединений калия в почве установлена тесная корреляционная связь, описываемая соответствующим уравнением регрессии:

$$Y = -202,2 x^{-1,056}, R^2 = 0,99,$$

где y – содержание подвижных соединений калия в почве, мг/кг; x – количество годов после внесения калийных удобрений.

3. Между динамикой изменения продуктивности культур и временем последействия фосфорных и калийных удобрений установлена слабая связь ($R^2 = 0,39$; $R^2 = 0,25$ соответственно). Это подтверждает аксиому, что продуктивность культур – функция многих факторов и величина ее зависит не только от уровня содержания подвижного фосфора или калия в почве.

4. При внесении полного удобрения в дозах $N_{80}P_{37}K_{95}$ также отмечается снижение содержания подвижных соединений фосфора и калия в почве: за 25 лет содержание P_2O_5 снизилось на 21 мг /кг почвы, или около 1 мг/год, а K_2O – на 136 и 5,5 мг /кг почвы соответственно. Для бездифицитного применения фосфорных и калийных удобрений их дозы для получения продуктивности 60 ц/га к. ед. должны составлять около 50 кг/га P_2O_5 и 120–130 кг/га K_2O .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.
2. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
3. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, В. Н. Невмержицкий. – Минск: Бел. изд. Тов-во «Хата», 1997. – С.195.
4. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Бел. изд. Тов-во. «Хата», 2003. – 163 с.
5. Кудеяров, В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
6. Гамзиков, Г. П. Агрохимия азота в агроценозах / Г. П. Гамзиков. – Новосибирск, НГАУ, 2013. – 790 с.
7. Смирнов, П. М. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями / П. М. Смирнов. – М.: ТСХА, 1982. – 62 с.
8. Сычев, В. Г. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2012. – 200 с.
9. Кирпичников, Н. А. Действие и последействие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования / Н. А. Кирпичников, С. Н. Адрианов // Агрохимия, 2007. – № 10. – С. 14–23.
10. Ониани, О. Г. Агрохимия калия / О. Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.

11. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной почвы при изменении калий-дефицитной системы удобрения / А. И. Иванов [и др.] // *Агрохимия*. – 2009. – № 4. – С. 21–26.
12. *Прокошев, В. В.* Агрохимия калийных удобрений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В. В. Прокошев; МГУ. – М.:, 1984. – 40 с.
13. *Прокошев, В. В.* О необходимости применения калийных удобрений / В. В. Прокошев // *Плодородие*. – 2002. – № 1. – С. 18 – 20.
14. *Якименко, В. Н.* Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве / В. Н. Якименко // *Агрохимия*. – 2015. – № 4. – С. 3–12.
15. Адаптивные системы земледелия в Беларуси / под общ. ред. А. А. Попкова. – Минск, 2001. – 308 с.
16. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина. – 2007. – 448 с.
17. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.
18. Система применения органических и минеральных макро- и микроудобрений в севооборотах: рекомендации / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 56 с.
19. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / В. Г. Гусаков и [и др.]. – Минск: Ин-т аграр. экономики, 2012. – 287 с.
20. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сборник научных материалов, 3-е изд., доп. и перераб. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 692 с.
21. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

DURATION OF AFTEREFFECT OF PHOSPHORIC AND POTASH FERTILIZERS ON CROP PRODUCTIVITY AND SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL'S FERTILITY

**V. V. Lapa, N. N. Semenenko, E. G. Mezentseva,
N. N. Ivakhnenko, A. A. Hracheva**

Summary

The article presents the results of long-term research to assess the impact of fertilizer systems on crop productivity, the duration of aftereffect of phosphoric and potash fertilizers and fertility of sod-podzolic sandy loam soil.

It was found that a prolonged deficiency of one or another mineral nutrition's element affects the agrochemical degradation and soil fertility. Studies have shown that when phosphoric and potash fertilizers are excluded from the fertilizer system, annual losses of mobile phosphorus and potassium are about 3 and 8 mg/kg of soil per year, respectively.

Поступила 09.12.19

ИЗМЕНЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ФОСФОРом ПАХОТНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, И. С. Станилевич, О. Л. Ломонос

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор является одним из наиболее важных и дефицитных элементов минерального питания растений. Недостаток доступных растениям форм фосфора в мире наблюдается на 67 % площади почв сельскохозяйственного назначения на фоне истощения легкодоступных месторождений этого элемента [1].

Содержание подвижных форм фосфатов является одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв [2–5]. Фосфор является важнейшим элементом питания растений, определяющим величину и качество полезной продукции, энергетический баланс и состав органических соединений в растении. Несмотря на способность накапливаться в почвах, содержание подвижных фосфатов сильно изменяется в зависимости от характера интенсификации земледелия. Диапазоны оптимальных показателей реакции почв, содержания подвижных форм фосфора и калия, установленные в полевых опытах, используются в Беларуси при планировании и оценке результатов почвоулучшающих мероприятий [6].

Обеспеченность почв фосфором по полям и участкам в настоящее время сильно различается, в условиях высокой стоимости фосфорных удобрений и сложного экономического состояния хозяйств [7]. Существенны различия и в урожайности культур в зависимости от уровня плодородия почв и факторов интенсификации производства. Возрастает значимость рационального использования удобрений с учетом агрохимических свойств почв. Важным становится дозированное внесение фосфорных удобрений по полям и участкам из расчета формирования возможного урожая и оптимальных параметров содержания подвижных форм фосфора в почве.

Цель работы – провести критический анализ научной информации по динамике обеспеченности пахотных и луговых почв подвижными фосфатами за 2001–2016 гг. в сопоставлении с оптимальными параметрами и уровнем внесения органических и минеральных удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – почвы сельскохозяйственных земель (пашня, улучшенные сенокосы и пастбища) по всем районам Беларуси, обследованные по содержанию подвижных форм фосфора, дозы фосфорных удобрений, продуктивность земель за период 2001–2016 гг. Исследована динамика содержания подвижных форм фосфора по группам гранулометрического состава почв и административным районам в сопоставлении с диапазонами оптимальных параметров. Материалы по видам и количеству применяемых удобрений собраны по данным

статистической отчетности. Предмет исследований – зависимость показателей, характеризующих обеспеченность почв фосфором, от факторов интенсификации земледелия и исходной агрохимической характеристики почв. Метод исследования – системный анализ с применением общепринятой статистической обработки данных.

Оптимальные уровни содержания подвижных фосфатов в почвах. Содержание подвижных форм фосфора, доступных растениям, характеризуется высокой динамичностью. Поэтому в границах полей, хозяйств и районов Беларуси содержание фосфора в почвах различается от низкого до очень высокого. Столь же существенны различия в урожайности культур. За период 2013–2016 гг. различия среднегодовых уровней урожайности зерновых культур по районам достигали 3,3 раз – от 63,8 ц/га в Гродненском до 19,3 ц/га в Рассонском районе. Эти различия преимущественно определялись уровнем плодородия почв и дозами внесенных минеральных и органических удобрений.

По данным многолетних полевых опытов Института почвоведения и агрохимии, проведенных в 1970–1980-х гг., увеличение содержания фосфора в почве сопровождалось достоверным приростом продуктивности севооборотов вплоть до 200–250 мг/кг на супесчаных и 300 мг P_2O_5 /кг на суглинистых почвах [2]. Оптимальные уровни обеспеченности почв фосфором повышаются по мере усиления интенсификации земледелия (введение новых высокопродуктивных сортов растений, повышенных доз минеральных удобрений, средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей и др.). Анализ результатов (2001–2007 гг.) специально спланированных полевых опытов позволил повысить диапазоны оптимального содержания подвижных фосфатов. Для песчаных почв – до 150–230 мг/кг, рыхлосупесчаных почв – до 200–250 мг/кг, связносупесчаных, подстилаемых суглинками почв – до уровня 250–300 мг/кг, а суглинистых почв – до уровня 300–350 мг P_2O_5 на килограмм почвы [7, 8]. Следует отметить, что полевые опыты были проведены на хорошоокультуренных участках связносупесчаных и рыхлосупесчаных почв, подстилаемых суглинками. Однако в большинстве районов республики преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые рыхлыми песками, с небольшим потенциалом плодородия. Поэтому необходимо ориентироваться на достижение нижних границ оптимальных диапазонов содержания подвижных фосфатов.

Повышение содержания подвижных фосфатов и калия в почвах также является важным фактором получения нормативно чистой растениеводческой и животноводческой продукции на загрязненных радионуклидами землях. Внесение повышенных доз фосфорных удобрений способствует снижению перехода в продукцию продовольственных и кормовых культур радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr до 1,5–2,5 раз, в частности, за счет закрепления в почве микроколичеств ^{90}Sr труднодоступными для растений фосфатами кальция и магния [9–10].

Недостаточное внесение фосфорных удобрений сопровождается как недобором урожая, так и снижением плодородия почв. Недостаток фосфора в почве сопровождается также снижением эффективности азотных удобрений, что отмечено в ряде исследований [2–5]. При повышении содержания подвижных фосфатов в супесчаной почве от низкого до оптимального уровня прибавки урожайности зерна яровой пшеницы от азотных и калийных удобрений возрастают практически вдвое [8]. Характерно, что высокая окупаемость фосфорного удобрения прибавкой урожайности наблюдается в диапазоне от среднего до нижней границы

оптимального содержания подвижных фосфатов: 117–200 мг P_2O_5 на кг почвы. При высоком содержании подвижных фосфатов в почве эффективность фосфорных удобрений резко снижается.

Оптимизация содержания P_2O_5 в почве интенсифицирует процессы аммонификации органических соединений с выделением азота, повышает скорость минерализации целлюлозы в почве. Длительное внесение избыточных доз удобрений приводит к накоплению в почве невостребованных запасов фосфора, нерациональному использованию ресурсов, снижению биологической активности почвы [11–13]. Порога избыточного накопления подвижных фосфатов до уровня токсичности для растений не установлено [14]. Однако известно, что накопление избытка подвижных фосфатов в почвах приводит к снижению эффективности азотных и калийных удобрений и другим негативным экологическим последствиям [15]. Обеспечение рационального баланса фосфора является весьма актуальной задачей современного земледелия [2, 8, 15–18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика обеспеченности почв фосфором. Почвы Беларуси бедны фосфором. Запасы валового фосфора в 25-сантиметровом пахотном слое оцениваются от 4 т на суглинках до 2 т на песчаных почвах, из которых около 1 т приходится на долю органических фосфатов [2, 3]. Обеспеченность подвижными формами фосфора почв улучшенных сенокосов и пастбищ значительно ниже. За полувековой период средневзвешенное содержание подвижных фосфатов в пахотных и улучшенных луговых почвах повысилось почти втрое (рис. 1).

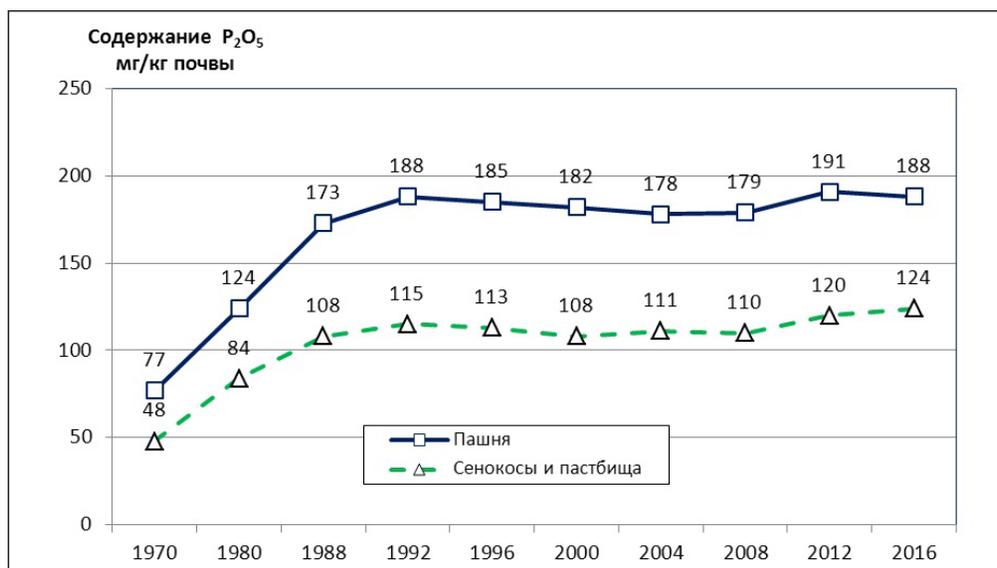


Рис. 1. Динамика содержания подвижных фосфатов в пахотных и луговых почвах Беларуси

Это результат целенаправленной работы нескольких поколений по внесению повышенных доз органических и фосфорных удобрений за весь период химизации

земледелия. За последние 55 лет на гектар пашни в среднем по Беларуси было внесено по 2056 кг фосфора с минеральными и по 1019 кг с органическими удобрениями, всего 3075 кг P_2O_5 . В настоящее время средневзвешенное содержание подвижных фосфатов (по Кирсанову) на пашне составляет 188 мг P_2O_5 /кг почвы, а гектарный запас – 611 кг/га, что примерно в три раза больше исходного запаса подвижных форм фосфора, 211 кг/га в 1965 году.

За период химизации земледелия Беларуси преобладал положительный баланс фосфора. Выделяются два периода наиболее благоприятного фосфатного режима по результатам обследования: 1989–1992 и 2009–2012 гг., когда средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в пахотных почвах достигло уровня 188 и 191 мг P_2O_5 на кг почвы соответственно. Именно в эти годы вносились наиболее высокие дозы фосфорных удобрений. За период 1989–1992 гг. в среднем на гектар пашни было внесено по 65 кг P_2O_5 минеральных удобрений, по 26 кг фосфора ежегодно поступало в почву с органическими удобрениями. В сумме это обеспечивало положительный баланс фосфора – 58 кг P_2O_5 в год. За период 2009–2012 гг. среднегодовой баланс фосфора составил +35 кг P_2O_5 на гектар пашни (рис. 2), что и обеспечило интенсивное накопление подвижных фосфатов в почвах.

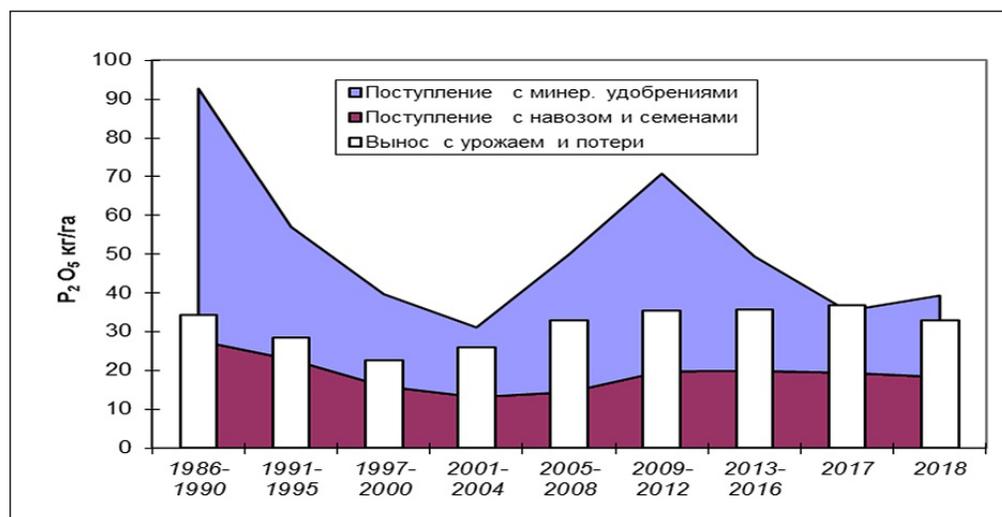


Рис. 2. Динамика баланса фосфора в земледелии Беларуси за период 1986–2018 гг.

Наиболее существенное снижение уровня применения фосфорных удобрений на пашне пришлось на периоды 2001–2004 гг. и в 2017 г., когда среднегодовые гектарные дозы фосфорных удобрений уменьшились до уровня менее 20 кг P_2O_5 , что не позволяло поддерживать запасы подвижных фосфатов на прежнем уровне. Как следствие, наблюдалось некоторое снижение средневзвешенного содержания подвижных фосфатов в пахотных почвах. Разумеется, колебания средневзвешенного уровня содержания подвижных фосфатов в целом по республике небольшие, они не могут быть серьезной причиной снижения плодородия почв в ближайшей перспективе. Однако на уровне регионов изменения могут быть значительно больше.

В ходе реализации Государственной программы возрождения села за 2005–2012 гг. в большинстве районов Беларуси был сформирован и поддерживался благоприятный фосфатный режим пахотных почв. Теперь в целом по республике слабообеспеченные фосфором почвы (менее 100 мг P_2O_5 на кг почвы) занимают 22,8 % площади пашни, с колебаниями от 31,5 % в Минской до 15,2–15,9 % в Гродненской и Гомельской областях (табл. 1). Значительная доля пахотных почв с высоким содержанием фосфора (251 и более мг P_2O_5 на кг почвы) характерна для Гомельской (38,3 %), Гродненской (28,3 %) и Могилевской (26,6 %) областей. Для сравнения в Нечерноземной зоне России около 60 % площади пахотных почв характеризуется повышенной кислотностью и низким содержанием подвижных форм фосфора [5].

В луговых почвах Беларуси преобладает невысокое, почти равновесное содержание подвижных фосфатов, а в Минской и Могилевской областях средневзвешенное содержание P_2O_5 снизилось за последние четыре года на 4 и 14 мг/кг почвы соответственно (табл. 2).

Таблица 1

Распределение площади пахотных почв областей Беларуси по группам обеспеченности подвижными фосфатами за период 2013–2016 гг.

Область	Доли площади по группам содержания P_2O_5 , %						Средневзвешенное содержание P_2O_5 , мг/кг почвы		
	<60	61–100	101–150	151–250	251–400	>400	2016 г.	2012 г.	2008 г.
Брестская	9,6	16,5	22,4	29,3	18	4,2	177	156	156
Витебская	8,7	16,2	21,2	29	17,1	7,8	186	180	171
Гомельская	5,1	10,8	15,8	30	28,1	10,2	223	225	225
Гродненская	4,1	11,1	19,6	36,9	21,4	6,9	204	203	165
Минская	10,9	20,6	24,4	27,4	15,2	1,5	161	175	174
Могилевская	5,6	13,8	21,2	32,8	22,7	3,9	190	214	189
Республика Беларусь	7,6	15,2	21,0	30,6	20,1	5,5	188	191	179

Таблица 2

Изменение средневзвешенного содержания подвижных фосфатов в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ (P_2O_5 мг/кг почвы) по областям Беларуси за 2013–2016 гг.

Область	2001–2004 гг.	2005–2008 гг.	2009–2012 гг.	2013–2016 гг.	Разница (2016–2012 гг.)
Брестская	92	92	97	108	11
Витебская	142	143	151	162	11
Гомельская	123	123	134	146	12
Гродненская	92	86	104	107	3
Минская	94	92	97	93	–4
Могилевская	124	125	149	135	–14
Республика Беларусь	111	110	120	124	4

Динамика обеспеченности почв подвижными фосфатами имеет также некоторые региональные отличия. Так, обеднение пахотных и луговых почв фосфором затронуло большинство районов Минской и Могилевской области, но меньше проявилось в Брестской и Витебской областях (табл. 3).

Таблица 3

Количество районов Беларуси, где произошло снижение содержания подвижных фосфатов в пахотных и луговых почвах за период 2013–2016 гг.

Область	Пашня	Сенокосы и пастбища
Брестская	3	2
Витебская	5	3
Гомельская	12	5
Гродненская	11	7
Минская	20	16
Могилевская	17	12
Республика Беларусь	68	45

Очевидно, что предстоит многолетняя ресурсоемкая работа по оптимизации фосфатного статуса пахотных и луговых почв во многих районах страны. Чтобы оптимизировать необходимые ресурсы дорогостоящих фосфорных удобрений, необходимо, в первую очередь, предотвратить их нерациональное использование и ограничить их внесение на участках с высоким и избыточным содержанием подвижных фосфатов. Анализ результатов последнего тура агрохимического обследования почв, сгруппированных по элементарным участкам, показывает непропорциональные отклонения обеспеченности почв различного гранулометрического состава фосфором по отношению к оптимальным параметрам (табл. 4).

Таблица 4

Распределение площади пашни Беларуси по уровням обеспеченности фосфором почв различного гранулометрического состава (2013–2016 гг.) в сопоставлении с оптимальными параметрами

Почвы	Оптимальное содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Средневзвешенное содержание P_2O_5 мг/кг почвы	Распределение площади пахотных почв по уровням содержания фосфора, %		
			ниже оптимума	оптимум	выше оптимума
Глинистые и суглинистые	300–400	193	83	13	4
Супесчаные	200–300	195	56	26	18
Песчаные	150–230	201	39	25	36
Торфяные	600–1000	360	85	10	4

В целом по Беларуси песчаные и супесчаные почвы характеризуются наибольшей долей (36 и 18 %), соответственно 400 и 480 тыс. га пашни с избыточным накоплением остаточного фосфора на уровне выше оптимального диапазона. В то же время основные массивы наиболее потенциально плодородных суглинистых почв (83 % площади) характеризуются недостаточным содержанием подвижных фосфатов. Это значит, что примерно на 800 тыс. га пашни на суглинках расте-

ния испытывают недостаток фосфорного питания, в то время как на площади 880 тыс. га песчаных и супесчаных земель наблюдается избыток подвижных форм фосфора в почве. Разумеется, дефицит фосфора наблюдается также и на преобладающей части супесчаных и песчаных участков пашни, всего на площади 1920 тыс. га. Указанные резервы снижения дефицита фосфора в земледелии Беларуси за счет дифференцированного внесения фосфорных удобрений по полям и участкам с учетом содержания в почве подвижных фосфатов должны быть использованы.

Повышенное накопление подвижных фосфатов в почвах легкого гранулометрического состава (свыше оптимальных уровней) сложилось в результате многолетней практики завышения планируемой урожайности основных культур, а также оплаты приобретения удобрений для экономически несостоятельных хозяйств из бюджета и других централизованных источников. В последние пять лет приобретение всех видов минеральных удобрений оплачивают сами хозяйства, что, вероятно, будет способствовать повышению эффективности удобрений. На рис. 3 показана среднегодовая продуктивность севооборотов (к. ед., ц/га) в зависимости от содержания подвижных фосфатов в почвах за период 2013–2016 гг. по районам Беларуси.

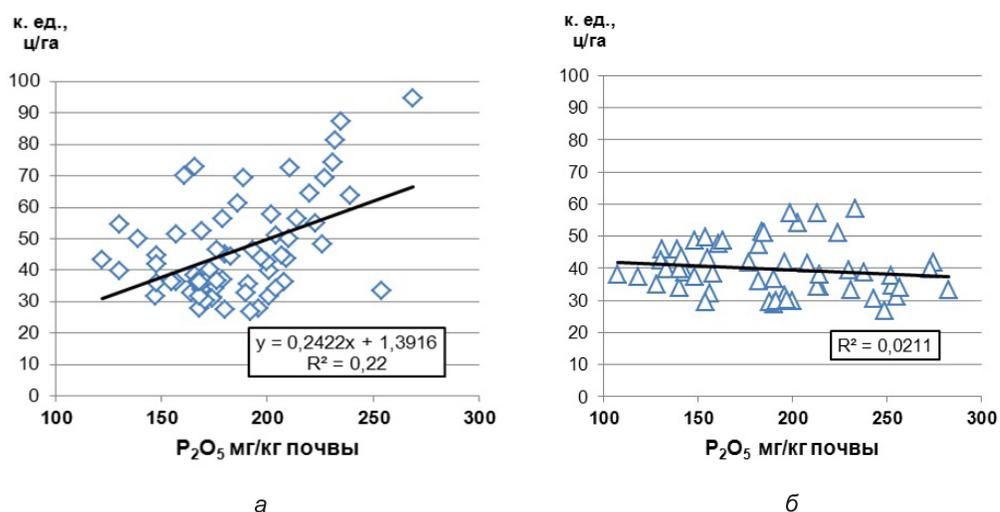


Рис. 3. Среднегодовая продуктивность севооборотов в зависимости от содержания подвижных фосфатов в пахотных почвах за период 2013–2016 гг.:

а – в 64 районах с преобладаем суглинистых и супесчаных подстилаемых суглинками почв; б – в 54 районах с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв

Нетрудно заметить, что в группе районов, где преобладают потенциально высокоплодородные почвы, продуктивность севооборотов закономерно возрастает в диапазоне 30–90 ц к. ед./га по мере повышения содержания подвижных фосфатов от 120 до 280 мг P_2O_5 на кг почвы. В группе районов, где преобладают менее продуктивные песчаные почвы, урожайность севооборотов в меньшей степени, но также различается по районам от 30 до 60 ц к. ед. с гектара. Но здесь различия в продуктивности севооборотов не связаны с содержанием подвижных фосфатов в почвах. В районах, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы до-

статочно вносить сравнительно меньшие дозы фосфора, чтобы компенсировать вынос фосфора с отчуждаемой частью урожая сельскохозяйственных культур и поддерживать содержание подвижных фосфатов в почвах на нижней границе оптимального диапазона: 150–170 мг P_2O_5 на кг почвы.

На улучшенных сенокосах и пастбищах за период 2009–2016 гг. в большинстве районов среднегодовые дозы внесения фосфорных удобрений были незначительны и только в отдельных районах достигали уровня 6–12 кг P_2O_5 на гектар. За длительный период химизации сформировались большие различия в содержании подвижных фосфатов в луговых почвах по районам Беларуси в диапазоне от 60 до 200 мг P_2O_5 на кг почвы. Незначительные дозы фосфорных удобрений, вносимые непосредственно на луговые травостои, не могут влиять на изменение содержания фосфора в луговых почвах. Повышение содержания подвижных фосфатов в луговых почвах по сравнению с предыдущими турами обследования обусловлено трансформацией участков лугов под пашню и наоборот. В целом по республике, по данным статистического учета, непосредственное среднегодовое поступление фосфора с удобрениями на улучшенные сенокосы и пастбища заметно уменьшилось: составило за период 2009–2012 гг. P_2O_5 4,0±5,3 кг/га, сошло практически на нет до 0,5±1,0 кг/га в 2013–2016 гг.

Ежегодное внесение фосфорных удобрений в дозах 20–30 кг P_2O_5 на гектар травостоя многолетних трав является важным условием повышения их продуктивности, получения дешевых высококачественных кормов и окультуривания луговых почв.

Рекомендации по среднегодовым нормам баланса фосфора в пахотных почвах. Для рационального применения фосфорных удобрений будет полезно использовать понятную и удобную систему контроля среднегодовых параметров баланса фосфора в земледелии на уровне районов (и хозяйств) на основе приведенных нормативов (табл. 5). В таблице приведены нормативы баланса фосфора в земледелии, дифференцированные по преобладанию гранулометрического состава почв по группам районов (или хозяйств) в зависимости от исходного содержания подвижных фосфатов в почвах и соответствующего уровня продуктивности пашни, выраженного в эквиваленте кормовых единиц суммарной урожайности всех возделываемых культур.

Таблица 5

Нормативы баланса фосфора для оптимизации уровня содержания подвижных фосфатов в пахотных почвах по группам районов Беларуси

Группа районов	Исходное содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Продуктивность к. ед. ц/га	Баланс P_2O_5 , кг/га в год
Районы с преобладанием суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками, почв	<150	35–40	25–30
	151–200	41–45	15–20
	201 и более	45–50	10–15
Районы с преобладанием песчаных и рыхлосупесчаных почв	<150	35–40	10–15
	151–200	35–45	5–10
	201 и более	35–45	(–5)–0

Использование этих нормативов позволит концентрировать более высокие дозы фосфора в тех районах (и хозяйствах), где содержание подвижных фосфатов в почвах ниже оптимального уровня и где имеется наибольший потенциал

прироста урожайности сельскохозяйственных культур. Одновременно уменьшится вероятность применения нерациональных доз фосфорных удобрений в районах (хозяйствах) с высоким уровнем обеспеченности почв фосфором и снизятся экономические потери. Приведенные нормативы целесообразно также учитывать при резервировании в хозяйствах финансовых средств для закупки минеральных удобрений.

Оптимизация обеспеченности почв подвижными формами фосфора должна осуществляться с учетом внесения всех видов органических и минеральных удобрений в севообороте. В районах (хозяйствах) с преобладанием почв связного гранулометрического состава и бедных фосфатами (<150 мг P₂O₅ на кг почвы) рекомендуется поддерживать положительный среднегодовой баланс фосфора на уровне 25–30 кг/га. Это позволит постепенно повысить плодородие почвы. По мере повышения содержания подвижных фосфатов в почве показатели баланса фосфора снижаются. А на почвах, где содержание фосфатов превышает нижнюю границу оптимума, должен поддерживаться бездефицитный или слабоотрицательный баланс фосфора.

Использование предложенных нормативов позволит ускорить оптимизацию фосфатного режима наиболее плодородных почв связного гранулометрического состава, уменьшить нерациональное накопление остаточных фосфатов в песчаных и рыхлосупесчаных почвах, а в целом существенно повысить окупаемость удобрений.

ВЫВОДЫ

За последние годы применение фосфорных удобрений в целом по республике было резко снижено и стало недостаточным как для реализации потенциала урожайности новых сортов сельскохозяйственных культур, так и для повышения содержания подвижных форм фосфора на слабообеспеченных полях и участках. Использование ресурсов фосфорных удобрений по районам, хозяйствам и полям требует совершенствования в связи с большой пестротой агрохимических свойств почв. Размах колебаний средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах по районам достигает 2,5 раз, по хозяйствам – до 4 раз, а по полям – на порядок.

В результате анализа результатов обследования почв по всем районам Беларуси за период 2001–2016 гг. установлена зависимость динамики обеспеченности пахотных почв фосфором от интенсивности земледелия. Разработаны нормативы оптимальных показателей среднегодового баланса фосфора в земледелии для двух групп районов Беларуси: а) 64 районов, где преобладают потенциально более продуктивные, суглинистые и супесчаные, подстилаемые суглинками почвы, б) 54 районов, где преобладают песчаные и рыхлосупесчаные почвы. Рекомендованы минимально необходимые дозы для предотвращения деградации плодородия и оптимизации фосфатного статуса пахотных почв на ближайшую перспективу.

За длительный период химизации сформировались большие различия в содержании подвижных фосфатов в луговых почвах по районам Беларуси в диапазоне от 60 до 200 мг P₂O₅ на кг почвы. Незначительные дозы фосфорных удобрений, вносимые непосредственно на сенокосы и пастбища, не могут влиять на изме-

нение содержания фосфора в луговых почвах. Ежегодное внесение фосфорных удобрений в дозах 20–30 кг P_2O_5 на гектар травостоя многолетних трав является важным условием повышения их продуктивности, получения дешевых высококачественных кормов и окультуривания луговых почв.

Необходимо периодически проводить анализ динамики содержания подвижных форм фосфора в почвах на уровне поля, хозяйства и административного района в сопоставлении с соответствующими диапазонами оптимальных параметров. Это позволит выйти на экономически оправданный уровень применения удобрений, который обеспечит положительную динамику содержания фосфора в почвах, недостаточно обеспеченных этими элементами, и откорректировать дозы удобрений для возмещения выноса фосфора с урожаем на почвах с оптимальным содержанием этих элементов. Дифференцированный подход к применению удобрений, в свою очередь, повысит их эффективность и создаст условия для бездефицитного баланса фосфора в почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cramer, M. D.* Phosphate as a limiting resource / M. D. Cramer // *Plant Soil*. – 2010. – Vol. 334, № 1. – С. 10.
2. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 271 с.
3. *Вильдфлуш, И. Р.* Фосфор в почвах и земледелии Беларуси / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. – Минск: Хата, 1999. – 196 с.
4. *Лапа, В. В.* Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2006. – 120 с.
5. *Сычев, В. Г.* Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
6. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В. Г. Гусаков [и др.]; под ред. В. Г. Гусакова; НАН Беларуси, МСХП РБ, Госкомимущества, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 106 с.
7. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
8. *Богдевич, И. М.* Зависимость урожайности и качества продукции зерновых культур от обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв фосфором и доз минеральных удобрений / И. М. Богдевич, В. А. Микулич, Г. И. Каленик // *Почвоведение и агрохимия*. – 2010. – № 2(45). – С. 55–72.
9. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
10. *Bogdevitch, I.* Fertilization as a Remediation Measure on Soils Contaminated with Radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr / I. Bogdevitch, N. Mikhailouskaya and V. Mikulich. / *Fertilizing Crops to Improve Human Health*. – Vol. 3: Risk Reduction. – Paris, 2012. – IPNI/IFA. – P. 275–290.

11. *Johnston, A. E.* Soil Management for sustainable Farming / A. E. Johnston, J. L. Salter // Journal of Royal Agricultural Society of England. – 2001. – Vol. 162. – P. 122–132.

12. *Михайловская, Н. А.* Влияние возрастающей обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижными формами фосфора и калия на биологические показатели плодородия / Н. А. Михайловская, Г. В. Мороз // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск; Гомель, 1995. – С. 206.

13. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants / W. Bergmann, G. Fisher. – New York, 1992. – 741 p.

14. *Титова, В. И.* Оптимизация применения азотных и калийных удобрений на почвах с высоким содержанием фосфора / В. И. Титова // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 1(21). – С. 87–92.

15. *Ekholm, P.* Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance / P. Ekholm [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2005. – Vol. 110, № 3. – P. 266–278.

16. *Лапа, В. В.* Продуктивность севооборотов, баланс элементов питания и изменения плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Плодородие. – 2005. – № 5.

17. Баланс и изменение содержания подвижного фосфора в пахотных почвах Беларуси / И. М. Богдевич [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 5–15.

18. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.

DYNAMICS OF PHOSPHOROUS SUPPLY OF ARABLE SOILS AND GRASSLAND IN BELARUS

I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin, I. S. Stanilevich, O. L. Lomonos

Summary

The results of Agrochemical Soil Survey for 2001–2016 showed the decline of mobile phosphate supply of arable soils and grassland in several regions of Belarus. The needs for improvement of P-fertilizer supply of potentially fertile Luvisol clay and loam soils are evident, as well as reduce the P-supply of poorer sandy soils with higher phosphate content. Differentiated norms of P-balance accordingly of initial phosphate content of different textured soils are proposed.

Поступила 09.12.19

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯРНОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА КРС И СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, О. М. Бирюкова, И. И. Касьяненко

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений развития агропромышленного производства остается дальнейшая индустриализация животноводства с акцентом на строительство крупных животноводческих комплексов. Строительство крупных ферм способствует, как правило, не только высокой концентрации скота, но и значительному накоплению их экскрементов, которые образуются постоянно, являясь естественными побочными продуктами животноводческого производства. При этом перевод животноводства на промышленную основу сопровождается существенным увеличением выхода жидких органических удобрений, что обостряет проблему их утилизации. В Республике Беларусь в настоящее время функционируют 198 животноводческих комплексов, в том числе 78 комплексов по откорму КРС и 120 свинокомплексов. Общая численность поголовья КРС на выращивании и откорме в сельскохозяйственных организациях составляет 4257 тыс., свиней – 2779 тыс. [1]. При существующем поголовье скота ежегодно в сельскохозяйственных организациях республики выход жидкого навоза и навозных стоков (без учета технологической воды) составляет свыше 12 млн т, или около 25 % от общего количества экскрементов всей животноводческой отрасли.

Традиционно жидкий навоз и навозные стоки используют в качестве органических удобрений, обеспечивая вовлечение в биологический круговорот содержащихся в них элементов питания. Рациональное применение этих удобрений при соблюдении оптимальных доз, сроков и способов их внесения оказывает положительное влияние на продукционные процессы агроценозов, способствуя повышению урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почв [2–10]. Однако на практике высокая концентрация крупного рогатого скота и свиней на комплексах для многих сельскохозяйственных организаций создала определенные трудности, связанные с утилизацией накопившихся объемов побочных продуктов животноводства. Возникшие проблемы обусловлены не только слабой материально-технической базой по подготовке и хранению жидкого навоза и навозных стоков, но и повышенными денежными издержками на их транспортировку и внесение за счет роста трудовых, транспортных и эксплуатационных затрат. В такой ситуации перевозки по внесению этих отходов во многих хозяйствах ограничены до 1–3 км от животноводческих комплексов [11]. По данным исследований, жидкий навоз КРС в дозе 75 т/га экономически целесообразно вносить под кукурузу на зеленую массу в радиусе 10 км от ферм, в дозе 150 т/га – 5 км от ферм [12]. В большинстве хозяйств в целях снижения производственных расходов жидкие побочные продукты животноводства вносят на близлежащие поля. При этом из-за отсутствия необходимых

площадей вблизи животноводческих комплексов их постоянно вносят на одни и те же участки в высоких дозах в течение длительного времени.

Ежегодное внесение больших объемов жидкого навоза и навозных стоков на одни и те же поля, расположенные вблизи животноводческих комплексов, может оказывать отрицательное влияние на показатели гумусового состояния почв. Неблагоприятные изменения могут проявляться в уменьшении относительной доли гуматов кальция – наиболее агрономически ценной фракции почвенного гумуса, которые играют важную роль в улучшении структуры почвы, способствуют закреплению почвенного гумуса в корнеобитаемом слое, предотвращая его вымывание в нижележащие слои. К другим нежелательным изменениям может быть отнесено увеличение подвижности гумусовой системы, обусловленное повышением содержания фульвокислот. Характерной чертой фульвокислот и их органо-минеральных производных является повышенная подвижность, вследствие чего наблюдается миграция растворимых фульватов по профилю почв. Это способствует обеднению пахотного слоя кальцием, магнием и другими катионами, в результате чего такие почвы подкисляются, теряют структуру и приобретают неблагоприятные агрохимические показатели.

Исследования по изучению влияния постоянно вносимых жидких побочных продуктов животноводства на гумусовое состояние дерново-подзолистых почв, расположенных вблизи животноводческих комплексов, в последние годы не проводили. В этой связи существенный рост выхода жидкого навоза и навозных стоков и их бессистемное применение на ограниченных площадях актуализировало необходимость проведения оценки гумусового состояния дерново-подзолистых почв, подвергающихся интенсивному воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков.

Цель исследований – установить влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и навозных стоков свиней на показатели гумусового состояния дерново-подзолистых почв вблизи животноводческих комплексов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований при оценке изменения гумусового состояния дерново-подзолистых почв под влиянием постоянного внесения жидкого навоза КРС и навозных стоков свиней были дерново-подзолистые почвы пахотных земель вблизи животноводческих комплексов. Почвенные образцы отобраны на почвах пахотных земель в ОАО «Гастелловское» Минского района (поголовье КРС – 1,5 тыс. голов), ГП «Путчино» Дзержинского района (поголовье КРС – 2,8 тыс. голов), СПК «Лань–Несвиж» Несвижского района (поголовье свиней – 20,9 тыс. голов), ОАО «Вишневецкий–Агро» Столбцовского района (поголовье свиней – 19,5 тыс. голов), ОАО «АгроВидзы» (поголовье КРС – 5,1 тыс. голов) и СПК «Маяк Браславский» (поголовье свиней – 21,2 тыс. голов) Браславского района (табл. 1).

Почвенные образцы отбирали весной 2014 г. при проведении маршрутных обследований до посева яровых культур при помощи агрохимического бура на глубину 0–25 см методом конверта в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними. На почвах пахотных земель, где были посеяны озимые культуры, отбор почвенных образцов произведен в начале ранневесенней вегетации растений. На всех дерново-подзолистых почвах для отбора почвенных образцов без нагрузки жидких побочных продуктов животноводства и при их внесении выбирали

участки, расположенные, по возможности, недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной разновидности. Обоснованность такого сравнения не совсем корректна, однако подобрать полностью идентичные почвы невозможно. Жидкие побочные продукты животноводства на всех участках в последний раз были внесены в 2013 г., за исключением поля, расположенного на дерново-подзолистой суглинистой почве в ОАО «Маяк Браславский», где свиные стоки в дозе 700–800 т/га последний раз вносили осенью 2012 г.

Таблица 1

Отбор почвенных образцов

Вид ОУ*	Место отбора	Срок внесения, лет	Нагрузка ОУ, т/га в год	Почва
Жидкий навоз КРС	ГП «Путчино» Дзержинский район, Минская область	30	500–600	Суглинистая
	ОАО «АгроВидзы», Браславский район, Витебская область	25	100–200 900–1000	Супесчаная
	ОАО «Гастелловское», Минский район, Минская область	3	600–700	
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский», Браславский район, Витебская область	20	500–600 700–800	Суглинистые
	ОАО «Вишневецкий–Агро», Столбцовский район, Минская область	25	500–600	
	СПК «Лань–Несвиж», Несвижский район, Минская область	5	200–300	Суглинистые
		10		

* ОУ – органическое удобрение.

В почвенных образцах содержание гумуса определяли по ГОСТ 26213–91, фракционно-групповой состав гумуса – по схеме И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [13]. В настоящее время при комплексной оценке гумусового состояния почв целесообразно пользоваться системой показателей, предложенной Д. С. Орловым с соавторами, которая позволяет оценить направленность протекания процесса гумусообразования, уровень накопления гумуса в почве, его качественный состав [14]. Дополнительно для характеристики напряженности процесса гумификации на разных стадиях использовали показатели количественного соотношения гуминовых и фульвокислот (1-й и 2-й фракций), предложенные М. Ф. Овчинниковой ($C_{ГК-1}/C_{ФК-1}$ и $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$) [15]. Показатель лабильности гумуса рассчитан согласно О. Н. Бирюковой с соавторами по формуле:

$$P_{\text{лаб}} = (ГК-1 + ФК-1 + ФК-1а)/(ГК-2 + ФК-2) [16].$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных аналитических работ установлено, что в дерново-подзолистых почвах, не подвергающихся воздействию жидких побочных продуктов животноводства, превалировали фульвокислоты, суммарное содержание которых варьировало в пределах 3060–5590 мг/кг против 1877–3409 мг/кг для гуминовых кислот (табл. 2, 3).

Таблица 2

Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание гуминовых кислот в дерново-подзолистых почвах

Почва	Срок внесения, лет	Нагрузка ОУ, т/га в год	Собщ. % от массы почвы	Фракции гуминовых кислот													
				мг/кг почвы			прирост в год, мг/кг										
				ГК-1	ГК-2	ГК-3	ΣГК	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ΣГК	ГК-1	ГК-2	ГК-3	% от С _{общ}		
<i>Комплекс по откорму КРС (ПТ «Путчино» Дзержинский район)</i>																	
Суглинистые	–	б/н*	0,93	1000	595	863	2458	–	–	–	–	–	–	–	10,8	6,4	9,3
	30	500–600	1,85	2438	2114	1843	6395	48	51	33	131	–	–	–	13,2	11,4	10,0
<i>Комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>																	
Суглинистые	–	б/н	1,28	681	683	712	2076	–	–	–	–	–	–	–	5,3	5,4	5,6
	3	600–700	1,44	1193	534	334	2061	171	–50	–126	–5	–	–	–	8,3	3,7	2,3
<i>Комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>																	
Суглинистые	–	б/н	2,05	1457	326	1626	3409	–	–	–	–	–	–	–	7,1	1,6	7,9
	25	900–1000	2,70	2670	1961	2103	6734	49	65	19	133	–	–	–	9,9	7,3	7,8
Супесчаные	–	б/н	1,73	1078	399	989	2466	–	–	–	–	–	–	–	6,2	2,3	5,7
	25	100–200	1,80	1690	972	1105	3767	24	23	5	52	–	–	–	9,4	5,4	6,1
<i>Свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>																	
Суглинистые	–	б/н	1,57	964	246	667	1877	–	–	–	–	–	–	–	6,2	1,6	4,3
	20	500–600	1,80	1347	1157	824	3328	19	46	8	73	–	–	–	7,5	6,4	4,6
		700–800	2,01	3055	482	445	3982	105	12	–11	105	–	–	–	15,2	2,4	2,2
<i>Свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>																	
Суглинистые	–	б/н	1,20	759	679	684	2122	–	–	–	–	–	–	–	6,3	5,7	5,7
	5	200–300	1,26	1347	442	241	2030	118	–47	–89	–18	–	–	–	10,7	3,5	1,9
		10		1,65	1591	748	504	2843	83	7	–18	72	–	–	9,7	4,5	3,1
<i>Свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовский район)</i>																	
Супесчаные	–	б/н	1,27	1455	577	518	2550	–	–	–	–	–	–	–	11,5	4,5	4,1
	25	500–600	1,43	1820	1352	691	3863	15	31	7	53	–	–	–	12,7	9,5	4,8
				1,37	1933	1321	665	3919	19	30	6	55	–	–	14,1	9,6	4,8
			1,63	2131	1607	845	4583	27	41	13	81	–	–	13,1	9,8	5,2	

* б/н – без нагрузки.

Таблица 3

Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание фульвокислот в дерново-подзолистых почвах

Почва	Срок внесения, лет	Нагрузка ОУ, т/га в год	Фракции фульвокислот											
			мг/кг почвы			прирост в год, мг/кг			процент от С _{общ}					
			ФК-1а	ФК-1	ФК-2	ФК-3	ФК-1а	ФК-1	ФК-2	ФК-3	ФК-1а	ФК-1	ФК-2	ФК-3
<i>Комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино» Дзержинский район)</i>														
Суглинистые	–	б/н	563	1251	524	722	–	–	–	–	6,1	13,5	5,7	7,8
	30	500–600	978	3020	929	1482	14	59	14	25	5,3	16,3	5,0	8,0
<i>Комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>														
Суглинистые	–	б/н	592	1941	762	626	–	–	–	–	4,6	15,2	6,0	4,9
	3	600–700	675	2466	699	428	28	175	–21	–66	4,7	17,1	4,8	3,0
<i>Комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>														
Суглинистые	–	б/н	599	2687	1687	617	–	–	–	–	2,9	13,1	8,2	3,0
	25	900–1000	652	4253	1736	917	2	63	2	12	2,4	15,7	6,4	3,4
Супесчаные	–	б/н	651	1807	1042	675	–	–	–	–	3,8	10,4	6,0	3,9
	25	100–200	390	2347	1210	693	–10	22	7	1	2,2	13,0	6,7	3,9
<i>Свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>														
Суглинистые	–	б/н	608	2002	1052	539	–	–	–	–	3,9	12,8	6,7	3,4
	20	500–600	621	2659	830	668	1	33	–11	6	3,5	14,8	4,6	3,7
		700–800	842	4505	983	416	12	125	–3	–6	4,2	22,4	4,9	2,1
<i>Свинокомплекс (ОАО «Лань–Несвиж», Несвижский район)</i>														
Суглинистые	–	б/н	594	1899	783	422	–	–	–	–	5,0	15,9	6,5	3,5
	5	200–300	658	2844	633	128	13	189	–30	–59	5,2	22,5	5,0	1,0
		10		728	3178	924	394	13	128	14	–3	4,4	19,3	5,6
<i>Свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий–Агро» Столбцовский район)</i>														
Супесчаные	–	б/н	719	1321	1022	434	–	–	–	–	5,7	10,4	8,0	3,4
	25	500–600	857	1951	1001	457	6	25	–1	1	6,0	13,7	7,0	3,2
				758	1768	982	630	2	18	–2	8	5,5	12,9	7,1
			851	2079	1290	766	5	30	11	13	5,2	12,7	7,9	4,7

На долю гуминовых кислот в общей сумме ГК и ФК приходилось только 31–45 %. Сопоставление содержания различных фракций гуминовых кислот свидетельствовало о преобладании подвижных ГК-1, доля которых в общей сумме гуминовых кислот составила 33–57 % при абсолютном содержании 681–1457 мг/кг и вариации относительного содержания в пределах 5,3–11,5 % от общего углерода почвы ($C_{\text{общ}}$). Более низкие показатели (246–683 мг/кг) характерны для гуминовых кислот, связанных с кальцием, при их доле в сумме ГК на уровне 10–33 %. В относительном выражении содержание фракции ГК-2 также было ниже, чем ГК-1, и составило 1,6–6,4 % от $C_{\text{общ}}$.

В почвах без нагрузок среди фракций фульвокислот наиболее высокие показатели характерны для ФК-1 (1251–2687 мг/кг) при содержании «агрессивной» фракции ФК-1а на уровне 563–719 мг/кг. При этом относительное содержание фракции ФК-1 составило 10,4–15,9 %, ФК-1а – 2,9–6,1 % от $C_{\text{общ}}$. Расчеты показали, что в составе подвижных фульвокислот на долю фульвокислот 1-й фракции приходилось 65–82 %.

На фоне ежегодных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 100–200 до 900–1000 т/га на дерново-подзолистые почвы на протяжении от 3-х до 30-ти лет относительное содержание ГК-1 увеличилось до 7,5–15,2 %, ФК-1 – до 12,7–22,5 % от $C_{\text{общ}}$ при практически таком же уровне ФК-1а (2,2–6,0 % от $C_{\text{общ}}$), как и в почвах без нагрузок, что указывало на их быстрое обновление.

Результаты исследований показали, что в абсолютном выражении наиболее высокий ежегодный дополнительный выход подвижной фракции ГК-1 в исследуемых дерново-подзолистых почвах получен в ОАО «Гастелловское» на фоне дозовой нагрузки жидкого навоза КРС 600–700 т/га в течение 3-х лет – 171 мг/кг (или 25 %).

Противоположная картина наблюдалась для наиболее ценной в агрономическом отношении фракции гуминовых кислот, связанной с кальцием, для которой отмечено негативное отклонение от исходных величин. При максимальном значении в приросте ГК-1 среди исследуемых почв для фракции ГК-2 за 3-летний период установлено наибольшее снижение содержания – на 149 мг/кг (50 мг/кг в год, или 7 %). При этом в относительном выражении содержание фракции ГК-2 уменьшилось до уровня 3,7 % от $C_{\text{общ}}$, что на 1,7 % ниже, чем в почве без нагрузок.

При времени воздействия навозных стоков свиней в течение 5 лет из расчета 200–300 т/га на дерново-подзолистую суглинистую почву в зоне влияния свиного комплекса в ОАО «Лань–Несвиж» получены закономерности, аналогичные таковым в ОАО «Гастелловское»: дополнительный прирост в содержании ГК-1 составил 118 мг/кг в год (+16 %) при уменьшении содержания фракции ГК-2 на 47 мг/кг в год (–7 %). При возрастании периода действия этих стоков на близлежащее поле до 10 лет с точки зрения абсолютного содержания выявлены положительные тенденции, свидетельствующие об отсутствии деструкции гуматов кальция и даже некотором приросте в их содержании (всего на 69 мг/кг за 3-летний период, или на 7 мг/кг в год). По сравнению с абсолютными величинами более объективным показателем, отражающим влияние вносимых жидких побочных продуктов животноводства на фракционно-групповой состав гумуса, является их относительное содержание. Определено, что под влиянием стоков свиней, вносимых на протяжении 10 лет, наблюдалась некоторая тенденция снижения относительного содержания фракции ГК-2 (до 5,6 % от $C_{\text{общ}}$) по сравнению с почвой без нагрузок

(6,5 % от $C_{\text{общ}}$), что свидетельствует о неблагоприятном процессе протекания гумусообразования. При этом содержание подвижной фракции ГК-1 увеличилось: абсолютно – на 832 мг/кг (+83 мг/кг или +11 % в год), относительно – на 3,4 % (до 9,7 % от $C_{\text{общ}}$).

Регулярное применение жидких побочных продуктов животноводства в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га на дерново-подзолистые почвы в течение 20–30 лет способствовало более низкому выходу подвижной фракции ГК-1 при большем приросте фракции ГК-2. В исследуемых почвах в ОАО «АгроВидзы» при дозовой нагрузке жидкого навоза КРС 100–200 т/га количество ГК-1 ежегодно увеличивалось на 24 мг/кг, при дозе 900–1000 т/га – на 49 мг/кг; в ГП «Путчино» при дозе 500–600 т/га – на 48 мг/кг, что в процентном выражении составило 2–5 %. В дерново-подзолистых почвах в зоне влияния свинокомплексов (ОАО «Вишневецкий–Агро» и ОАО «Маяк Браславский») при нагрузке стоков свиней 500–600 т/га прирост в содержании ГК-1 был на уровне 15–27 мг/кг в год (+1–2 %). При этом на фоне длительного внесения побочных продуктов животноводства ежегодная прибавка фракции ГК-2 в почвах составила 23–65 мг/кг (5–20 %) при наиболее высоком показателе в ОАО «АгроВидзы» при дозе жидкого навоза КРС 900–1000 т/га. В целом через 20–30 лет содержание фракции ГК-1 в почвах в зоне влияния животноводческих комплексов достигло 1347–2670 мг/кг против 964–1457 мг/кг в почвах без нагрузок; ГК-2 – 972–2114 мг/кг и 246–595 мг/кг соответственно. Довольно высокий среднегодовой прирост ГК-1 (105 мг/кг) при низкой прибавке ГК-2 (12 мг/кг) в почвенных образцах, отобранных на суглинистой почве, расположенной в зоне действия свинокомплекса в ОАО «Маяк Браславский», при ежегодном внесении свиных стоков из расчета 700–800 т/га в течение 20 лет обусловлен, по-видимому, среднекислой реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 4,9). Данное предположение сделано исходя из того, что при их нагрузке 500–600 т/га на близлежащее поле (pH_{KCl} 6,7) в этом хозяйстве прирост ГК-1 составил 19 мг/кг, ГК-2 – 46 мг/кг.

Комплексная оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв пахотных земель, подвергающихся постоянным дозовым нагрузкам жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 100–200 до 900–1000 т/га в течение 3–30 лет, показала, что наименьшая вариабельность свойственна «агрессивной» фракции ФК-1а, для которой характерно минимальное отклонение (не более 4 %) от исходных значений ее долевого участия в общей сумме фульвокислот.

Установлено, что в ОАО «Гастелловское» при сроке внесения жидкого навоза КРС в дозе 600–700 в течение 3 лет в исследуемой суглинистой почве наблюдалось увеличение долевого участия ГК-1 в общей сумме гуминовых кислот на 25 % (табл. 2). При этом выявлены признаки деградационных изменений в содержании ГК-2, что проявилось в уменьшении их долевого участия в общей сумме гуминовых кислот до 26 % по сравнению с 33 % в почве без нагрузок.

Аналогичные закономерности отмечены в ОАО «Лань–Несвиж» для дерново-подзолистых суглинистых почв на фоне применения свиных навозных стоков в течение 5–10 лет, в которых доля ГК-1 увеличилась на 20–30 % при снижении ГК-2 на 6–10 %.

В первое десятилетие в результате деструкции гуматов отмечены негативные отклонения для показателя $C_{\text{ГК-2}}/C_{\text{ФК-2}}$, который снизился в удобренных пахотных почвах до уровня 0,70–0,81 по сравнению с 0,87–0,90, где жидкие побочные продукты животноводства не вносили (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС
и свиных навозных стоков на показатели гумусового состояния дерново-подзолистых почв**

Вид ОУ	Место отбора	Срок внесения, лет	Нагрузка ОУ, т/га в год	Степень гумифи- кации, %	$S_{ГК}/C_{ФК}$	$S_{ГК-1}$, % от суммы СГК	$S_{ГК-2}$, % от суммы СГК	$S_{ГК-3}$, % от суммы СГК	$S_{ГК-1}/C_{ФК-1}$	$S_{ГК-2}/C_{ФК-2}$	П _{лаб}
Жидкий навоз КРС	ГП «Путчино»	–	б/н	26,5	0,80	41	24	35	0,80	1,14	2,5
		30	500–600	34,6	1,00	38	33	29	0,81	2,27	2,1
	ОАО «Гастелловское»	–	б/н	16,3	0,53	33	33	34	0,35	0,90	2,2
		3	600–700	14,3	0,48	58	26	16	0,48	0,76	3,5
	ОАО «АгроВидзы»	–	б/н	16,7	0,61	43	10	48	0,54	0,19	2,4
		25	900–1000	24,9	0,89	40	29	31	0,63	1,13	2,0
–		б/н	14,2	0,59	44	16	40	0,60	0,38	2,5	
Навозные стоки свиней	ОАО «Маяк Браславский»	25	100–200	20,9	0,81	45	26	29	0,72	0,80	2,0
		–	б/н	12,0	0,45	51	13	36	0,48	0,23	2,8
	ОАО «Лань–Несвиж»	20	500–600	18,5	0,70	40	35	25	0,51	1,39	2,3
		–	700–800	19,8	0,59	77	12	11	0,68	0,49	5,7
	ОАО «Вишневецкий–Агро»	–	б/н	17,7	0,57	36	32	32	0,40	0,87	2,2
		5	200–300	16,1	0,48	66	22	12	0,47	0,70	4,5
–	б/н	10	17,3	0,54	56	26	18	0,50	0,81	3,3	
–	б/н	–	20,1	0,73	57	23	20	1,10	0,56	2,2	
–	б/н	25	27,0	0,91	47	35	18	0,93	1,35	2,0	
–	б/н	–	28,5	0,95	49	34	17	1,09	1,35	1,9	
–	б/н	–	28,1	0,92	46	35	18	1,03	1,25	1,7	

На усиление негативных качеств гумуса дерново-подзолистых почв в течение первого десятилетия при постоянном внесении жидкого навоза КРС и стоков свиней указывало увеличение подвижности гумусовой системы: $P_{\text{лаб}}$ находился на уровне 3,3–4,5, что в 1,5–2,0 раза выше относительно почв без нагрузок. На фоне усиления подвижности гумусовой системы и деструкции гуматов кальция в постоянно удобряемых дерново-подзолистых почвах наблюдалась тенденция снижения отношения $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ до уровня 0,48–0,54 против 0,53–0,57 в почвах без внесения жидких побочных продуктов животноводства, что свидетельствовало о фульватной направленности процесса гумусообразования.

По истечении 20–30 лет в дерново-подзолистых почвах, подвергающихся интенсивным нагрузкам жидких побочных продуктов животноводства от 100–200 до 900–1000 т/га, диагностирована положительная направленность в изменении их гумусового состояния: доля ГК-2 в сумме гуминовых кислот увеличилась на 9–22 %; степень гумификации органического вещества – на 6,7–8,4 %, при расширении отношения $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ до 0,70–1,00 против 0,45–0,80 в почвах без нагрузок, что указывало на стабилизацию гумусового комплекса этих почв на определенном равновесном уровне и усиление признака гуматности. Длительное применение жидкого навоза КРС и навозных стоков свиней оказало также положительное влияние на процесс полимеризации гумусовых структур и формирование гуматов: показатель $C_{\text{ГК-2}}/C_{\text{ФК-2}}$ достиг 0,80–2,27 (0,19–1,14 в почвах без внесения этих удобрений). При этом долевое участие ГК-1 в суммарном содержании гуминовых кислот снизилось на 3–11 %. На усиление позитивных качеств гумуса дерново-подзолистых почв через 20–30 лет указывало уменьшение подвижности гумусовой системы: $P_{\text{лаб}}$ составил 1,7–2,3, что на 9–23 % ниже относительно почв без нагрузок.

ВЫВОДЫ

Комплексная оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв пахотных земель, подвергающихся постоянным дозовым нагрузкам жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, показала, что при сроке внесения их до 10 лет выявлены признаки деградационных изменений в составе гумуса. Относительное содержание фракции ГК-2 снизилось до 3,5–4,5 % от $C_{\text{общ}}$, их доля в сумме гуминовых кислот – до 22–26 %, отношение $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ – до 0,48–0,54, $C_{\text{ГК-2}}/C_{\text{ФК-2}}$ – до 0,70–0,81 против 5,4–5,7 % от $C_{\text{общ}}$, 32–33 %, 0,53–0,57 и 0,87–0,90 соответственно в почвах без нагрузок, что свидетельствовало о фульватной направленности процесса гумусообразования. На усилении негативных качеств гумуса этих почв указывало также увеличение подвижности гумусовой системы: $P_{\text{лаб}}$ достиг уровня 3,3–4,5, что в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с почвами без нагрузок.

По истечении 20–30 лет в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов диагностирована положительная направленность в изменении гумусового состояния: относительное содержание фракции ГК-2 увеличилось на 3,1–5,7 %, их доля в сумме гуминовых кислот – на 9–22 %; степень гумификации органического вещества – на 6,7–8,4 % при расширении отношения $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ – до 0,70–1,00, $C_{\text{ГК-2}}/C_{\text{ФК-2}}$ – до 0,80–2,27 (в почвах без нагрузок 0,45–0,80 и 0,19–1,14 соответственно) и уменьшении показателя $P_{\text{лаб}}$ на 9–23 %, что указывало на стабилизацию гумусового комплекса и усиление признака гуматности этих почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2018 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол. И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2018. – 489 с.
2. *Барановский, И.* Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.
3. *Бабенко, М. В.* Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М. В. Бабенко; РГАУ, МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2016. – 21 с.
4. *Сидорцов, В. В.* Влияние возрастающих доз свиного навоза и его сочетаний с минеральными удобрениями, соломой и сидератом на урожайность, качество картофеля и переход радионуклидов в продукцию: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. В. Сидорцов; НИИСХ ЦРНЗ. – М., 2000. – 20 с.
5. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 70–77.
6. *Самыкин, В. Н.* Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В. Н. Самыкин, В. Д. Соловиченко, А. А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол. А. И. Еськов, С. М. Лукин, И. В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.
7. *Семененко, С. Я.* Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы / С. Я. Семененко, О. М. Агеенко // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 46–48.
8. Агроэкономическая эффективность жидкого навоза КРС и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 4 (№ 95). – С. 39–42.
9. *Гейгер, Е. Ю.* Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитоценоза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16, 06.01.04 / Е. Ю. Гейгер. – Н. Новгород, 2003. – 212 л.
10. *Серая, Т. М.* Удобрение жидким навозом / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 52–56.
11. *Иванов, А. И.* Насущные вопросы научно-практического обеспечения и использования навоза в Ленинградской области // Системы использования органических удобрений и возобновляемых ресурсов в ландшафтном земледелии: сб. докл. Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, Владимир, 2013 г.: в 2 т. / РАСХН, ВНИИОУ Россельхозакадемии; редкол. С. М. Лукин [и др.]. – Владимир, 2013. – Т. 2. – С. 183–190.
12. *Бирюкова, О. М.* Гумусовое состояние дерново-подзолистых почв и продуктивность культур звена севооборота в зависимости от видов и доз органических удобрений: автореф. ... дис. канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О. М. Бирюкова; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2014. – 22 с.

13. Пономарева, В. В. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1975. – 105 с.

14. Орлов, Д. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д. С. Орлов, О. Н. Бирюкова, М. С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.

15. Овчинникова, М. Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистых почв при агрогенных воздействиях / М. Ф. Овчинникова // Вестник Моск. ун-та. – Сер. 17. Почвоведение. – 2009. – № 1. – С. 12–18.

16. Бакина, Л. Г. Роль фракций гумусовых веществ в почвенно-экологических процессах: автореф. ...дис. д-ра биол. наук: 06.01.03 / Л. Г. Бакина; С.-П. Науч.-исслед. центр экологич. безопасности РАН. – СПб., 2012. – 50 с.

THE INFLUENCE OF REGULAR INTRODUCTION OF LIQUID MANURE OF CATTLE AND PIG MANURE EFFLUENTS ON INDICATORS OF HUMUS CONDITION OF SOD-PODZOLIC SOILS

E. N. Bogatyrova, T. M. Seraya, O. M. Biryukova, I. I. Kasyanenko

Summary

The data on the influence of systematic exposure of liquid manure of cattle and pig manure effluents on the indicators of humus state of sod-podzolic soils are presented. After 20–30 years the soils near of livestock complexes was established a positive trend in the change of humus state: the relative content of HA-2 increased by 3,1–5,7 %, the share of HA-2 in the sum of humic acids – by 9–22 %; the degree of humification of organic matter – by 6,7–8,4 % with the expansion of C_{HA}/C_{FA} – up to 0,70–1,00, C_{HA-2}/C_{FA-2} – to 0,80–2,27 and a decrease in the indicator I_{lab} – by 9–23 %, which indicated the stabilization of the humus complex and the strengthening of the sign of humateness of soils. When the period of application of liquid manure of cattle and pig manure effluents up to 10 years, signs of degradation changes in the composition of humus were revealed: the relative content of HA-2 decreased to 3,5–4,5 % of the C_{tot} , the share of HA-2 in the amount of humic acids – up to 22–26 %, the ratio of C_{HA}/C_{FA} – to 0,48–0,54, C_{HA-2}/C_{FA-2} – 0,70–0,81, I_{lab} increased in 1,5–2,0 times that testified to fulvate orientation of process of humus formation.

Поступила 09.12.19

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА АГРОЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, С. А. Касьянчик, Т. М. Кирдун,
Ю. А. Белявская, М. М. Торчило**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Республике Беларусь посевы кукурузы значительно увеличились и составляют около 1,0 млн га, из которых 18–20 % убирается на зерно. При этом кукуруза выращивается в севооборотах и как монокультура на постоянных участках. Кукуруза относится к типу интенсивных культур с высоким потреблением питательных веществ. При уборке кукурузы на зерно вся листостебельная масса остается в поле. По существующим рекомендациям сразу же после измельчения соломы следует внести азотные удобрения из расчета 8 кг/т соломы [1, 2]. Однако значение дополнительного азотного удобрения по соломе, несомненно, все больше уменьшается с повышением плодородия дерново-подзолистых почв и ежегодным применением полного минерального удобрения под сельскохозяйственные культуры [3–5]. В связи с этим, одним из направлений данных исследований является установление целесообразности внесения компенсирующих доз азота по соломе при возделывании кукурузы на зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве в современных условиях хозяйствования.

По содержанию углерода листостебельная масса кукурузы (сухая масса) в 3,5–4,0 раза превосходит подстилочный навоз: из 1 т сухой соломы может образоваться 120–220 кг гумуса, в то время как из 1 т солоमистого навоза – 30–50 кг. Кроме того, в 1 т сухой массы соломы в среднем содержится: N – 8–12 кг, P₂O₅ – 4–5 кг, K₂O – 16–19 кг. При этом высвобождаемый из соломы азот поглощается микроорганизмами, которые ее разлагают, поэтому в первый год после заправки в питание растений азот практически не участвует [6, 7]. Содержащийся в послеуборочных остатках калий находится в легкодоступной для растений форме и может участвовать в питании последующей культуры. Исследованиями зарубежных ученых установлено, что не менее половины фосфора, содержащегося в соломе злаковых культур, представлено легкоусвояемыми соединениями, т.е. в год действия он может быть эффективнее даже водорастворимых форм фосфорных удобрений [8, 9].

В ранее проведенных нами исследованиях установлено, что основная часть калия (82–92 % от исходного содержания), 40–59 % фосфора и 8–31 % азота высвобождаются из листостебельной массы кукурузы уже в осенний период. В течение года калий высвобождается на 95–99 %, фосфор – на 70–90 %, азот – на 50–60 % [10]. Потому при возделывании кукурузы по соломе или листостебельной массе предшественника экономически целесообразным представляется

снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом их высвобождения из поступивших в почву растительных остатков.

Таким образом, рациональное использование органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зерно будет способствовать снижению себестоимости зерна и повышению экологичности сельскохозяйственного производства.

Кроме этого, в последние годы для применения в растениеводстве Республики Беларусь зарегистрированы новые виды эффективных микроудобрений, стимуляторов роста и микробиологических удобрений для некорневых подкормок. Применяя их в технологии возделывания кукурузы, возможно получить высокую продуктивность с более низкой себестоимостью зерна и при более низких дозах внесения традиционных видов минеральных удобрений.

В настоящее время в странах Евросоюза уже применяются подобные системы удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур. Широко используются некорневые подкормки комплексными удобрениями, содержащими макро- и микроэлементы, в зависимости от потребности растений по этапам органогенеза.

Цель исследований – разработать агрохимические приемы снижения себестоимости зерна кукурузы, обеспечивающие высокий уровень продуктивности при сохранении плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы и повышении экологичности сельскохозяйственного производства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лаборатории органического вещества почвы для решения запланированных задач по тематике исследований в двух полях заложен стационарный опыт: в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. Перед закладкой опыта почва имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,16–2,41 %, подвижных форм P_2O_5 – 133–203 мг/кг, K_2O – 134–223 мг/кг, pH_{KCl} – 5,5–6,0.

В опыте возделывается гибрид кукурузы Палацио. Схема опыта представлена в табл. 1.

Первое поле было заложено осенью 2015 г., второе – 2016 г. Осенью, после уборки кукурузы, согласно схеме опыта по делянкам была равномерно распределена измельченная солома и внесены компенсирующие дозы азота в виде карбамида (в среднем по двум полям за 3 года – 37 кг/га) и жидкого навоза КРС (30 т/га), в одном варианте по соломе внесено микробиологическое удобрение Жыцень в дозе 3 л/га. В первом поле кукурузу возделывали в 2016–2018 гг., во втором поле – в 2017–2019 гг.

За три года под кукурузу внесено в среднем 2,9 т/га соломы овса, 15,4 т/га листостебельной массы кукурузы. Подстилочный навоз в дозе 80 т/га вносили через год, согласно схеме опыта, осенью под вспашку, осенью в виде мульчи (вспашка весной) и весной под вспашку. Микроэлементы бор (100 г/га д.в.) и цинк (150 г/га д.в.) вносили в виде микроудобрений Адоб бор и Адоб цинк в некорневую подкормку в стадию 6–8 листьев кукурузы. В эту же стадию были проведены подкормки стимуляторами роста Агропон С в дозе 15 мл/га и Экосил в дозе 100 мл/га, расход рабочей жидкости – из расчета 300 л/га.

Минеральные удобрения внесены в полной дозе ($N_{90+60}P_{90}K_{150}$), половинной дозе ($N_{45+30}P_{45}K_{75}$) и в дозе $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ в вариантах с подстилочным навозом КРС. В вариантах с учетом содержания калия и фосфора в запаханной соломе предшественника в среднем за три года внесено $N_{90+60}P_{70}K_{67}$. Фосфорные и калийные удобрения внесены весной под культивацию, азотные – весной под культивацию и в подкормку в фазу 6–8 листьев кукурузы.

Кукуруза посеяна по зерновой технологии с нормой высева – 85 тыс. всхожих зерен на 1 га.

Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от удобрений в ценах 2019 г. в долларовом эквиваленте: транспортировка до 5 км и внесение подстилочного навоза КРС (ПН КРС) – 4,0 USD/т, жидкого навоза КРС (ЖН КРС) – 1,5 USD/т, стоимость зерна кукурузы на фураж – 130 USD/т, затраты на доработку прибавки урожая – 31 USD/т.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия периодов вегетации кукурузы значительно различались по среднесуточным температурам (рис. 1) и количеству выпавших осадков (рис. 2), что сказалось на урожайности кукурузы по годам исследования (табл. 1).

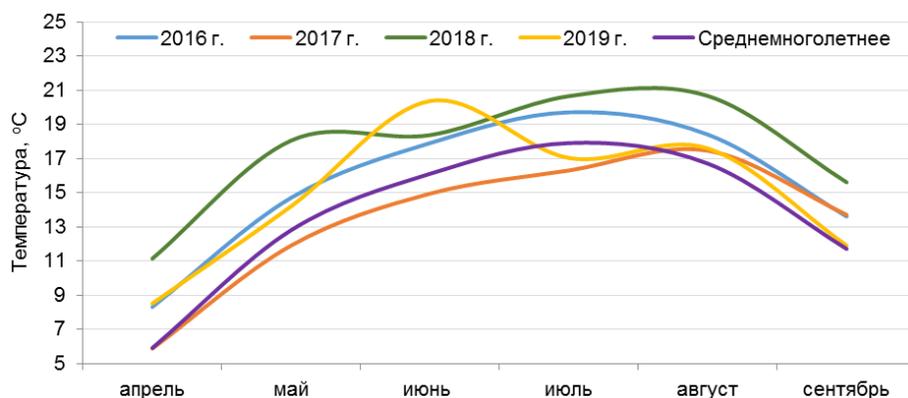


Рис. 1. Температурный режим вегетационных периодов, 2016–2019 гг.

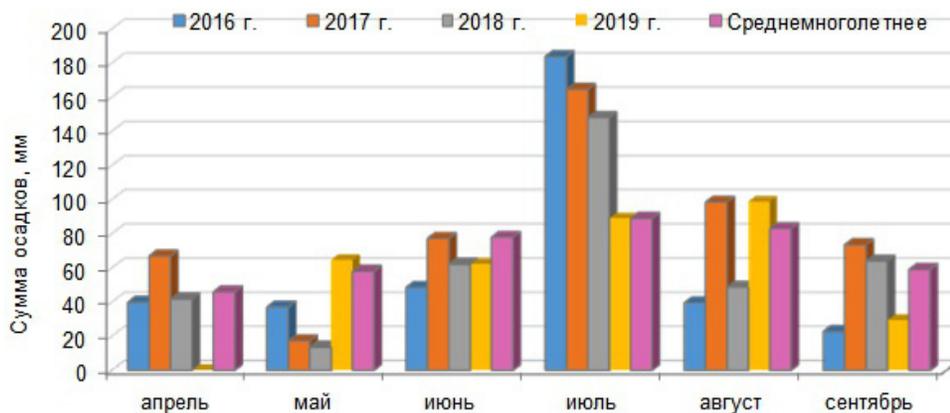


Рис. 2. Условия увлажнения вегетационных периодов, 2016–2019 гг.

Таблица 1

Влияние удобрений на урожайность зерна кукурузы в монокультуре на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га
	2016–2017 гг.	2017–2018 гг.	2018–2019 гг.	среднее	
Без удобрений (контроль)	44,9	39,7	49,7	44,7	–
N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	76,1	91,4	103,0	90,2	45,5
ПН КРС (осенью)	65,8	52,3	79,4	65,8	21,1
ПН КРС (осенью) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	83,0	82,3	114,6	93,3	48,6
ПН КРС (мульча)	34,9	36,5	82,5	51,3	6,6
ПН КРС (мульча) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	44,7	53,9	113,4	70,6	25,9
ПН КРС (весной)	74,7	60,9	109,5	81,7	37,0
ПН КРС (весной) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	92,1	92,7	123,5	102,8	58,1
Солома + ЖН КРС, 30 т/га	71,7	85,9	77,1	78,2	33,5
Солома + ЖН КРС, 30 т/га + B _{0,10} Zn _{0,15}	81,6	92,1	83,3	85,6	40,9
Солома	52,3	50,0	65,9	56,1	11,4
Солома + N ₃₇	63,0	64,1	73,7	66,9	22,2
Солома + Жыцень, 3 л/га	35,5	66,1	75,8	59,1	14,4
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	82,8	94,5	106,1	94,5	49,8
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₇₀ *K ₆₇ *	81,0	91,3	102,4	91,5	46,8
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ B _{0,10} Zn _{0,15}	88,6	101,4	124,7	104,9	60,2
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ B _{0,10} Zn _{0,15}	85,6	87,7	102,6	92,0	47,3
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ + Агропон С	69,7	98,0	106,6	91,4	46,7
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ + Экосил	73,7	91,5	97,7	87,6	42,9
НСП ₀₅	5,9	6,1	6,2	6,1	6,1

Холодные апрель и май 2017 г. были причиной задержки сроков сева кукурузы, ее роста и развития в начальный период. Частое и обильное выпадение осадков в период июль–сентябрь затянули сроки созревания зерна кукурузы. В результате уборка была проведена в конце второй декады октября. Все это отрицательно сказалось на урожайности зерна. В среднем за 2016–2017 гг. получено в среднем по опыту 68,5 ц/га зерна, при этом за счет удобрений получено 23,6 ц/га, или 53 % к контролю. Наиболее благоприятными для формирования урожайности зерна кукурузы были погодные условия в период вегетации кукурузы в 2018 и 2019 гг.: в среднем по опыту было получено 94,3 ц/га зерна, прибавка за счет удобрений составила 44,6 ц/га (90 % к контролю).

В среднем по двум полям за три года за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы сформирована урожайность зерна кукурузы на уровне 44,7 ц/га (табл. 1, рис. 3).

Запашка побочной продукции обеспечила рост урожайности в среднем за 3 года на 11,4 ц/га, т.е. на 1 т соломы получено 187 кг зерна кукурузы. Солома с компенсирующей дозой азота способствовала росту урожайности на 22,2 ц/га, при этом за счет азота получено 10,8 ц/га зерна. Условно чистый доход от данного агроприема составил 196 USD/га, рентабельность – 212 % (табл. 2).

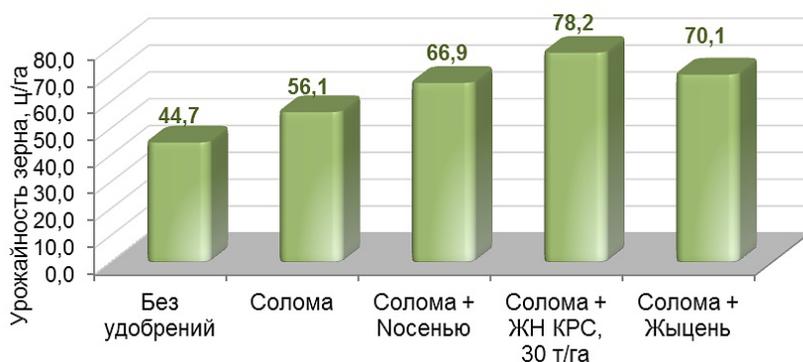


Рис. 3. Влияние заправки соломы, с компенсирующей дозой азота и обработкой микробиологическими удобрениями, на урожайность зерна кукурузы, среднее за 2016–2019 г. (НСР₀₅ 6,1 ц/га)

Таблица 2

Экономическая эффективность применения удобрений под кукурузу на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2016–2019 гг.

Вариант	Стоимость прибавки, USD/га	Общие затраты, USD/га	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность, %	Себестоимость, USD/т
N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	591	320	272	85	70
ПН КРС (осенью)	275	279	–4	–1	132
ПН КРС (осенью) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	632	497	134	27	102
ПН КРС (мульча)	417	313	104	33	98
ПН КРС (мульча) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	769	530	239	45	90
ПН КРС (весной)	481	328	153	47	89
ПН КРС (весной) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	755	527	228	43	91
Солома + N ₃₇	289	93	196	212	42
Солома + ЖН КРС, 30 т/га	436	149	287	193	44
Солома + ЖН КРС, 30 т/га + B _{0,10} Zn _{0,15}	532	189	343	182	46
Солома + Жыцень, 3 л/га	330	96	234	243	38
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	647	333	314	94	67
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₇₀ *K ₆₇ *	608	302	307	102	64
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ B _{0,10} Zn _{0,15}	783	382	401	105	63
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ B _{0,10} Zn _{0,15}	615	253	362	143	53
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ + Агропон С	607	241	366	152	52
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ + Экосил	558	231	327	141	54

* Дозы учитывают поступление Р и К с соломой.

Максимальная прибавка урожая зерна кукурузы при органической системе удобрения получена при заправке соломы с внесением компенсирующей дозы азота в составе жидкого навоза КРС – 33,5 ц/га, при этом условно чистый доход

составил 287 USD/га, рентабельность – 193 %. При заделке соломы, обработанной микробиологическим удобрением Жыцень, урожайность зерна составила 70,1 ц/га при самой высокой в опыте рентабельности – 274 %, низкой себестоимости прибавки урожая зерна – 38 USD/т.

Минеральные удобрения в дозах $N_{90+60}P_{90}K_{150}$ обеспечили урожайность зерна кукурузы на уровне 90,2 ц/га (рис. 4), прибавка урожая к неудобренному варианту составила 45,5 ц/га, или 102 %. При внесении $N_{90+60}P_{90}K_{150}$ (полная доза) по фону соломы урожайность составила 94,5 ц/га без существенной прибавки от соломы. С разницей в пределах HCP_{05} (6,1 ц/га) получена урожайность в варианте с внесением минеральных удобрений со скорректированными дозами фосфора и калия с учетом их высвобождения из соломы предшественника – 91,5 ц/га.

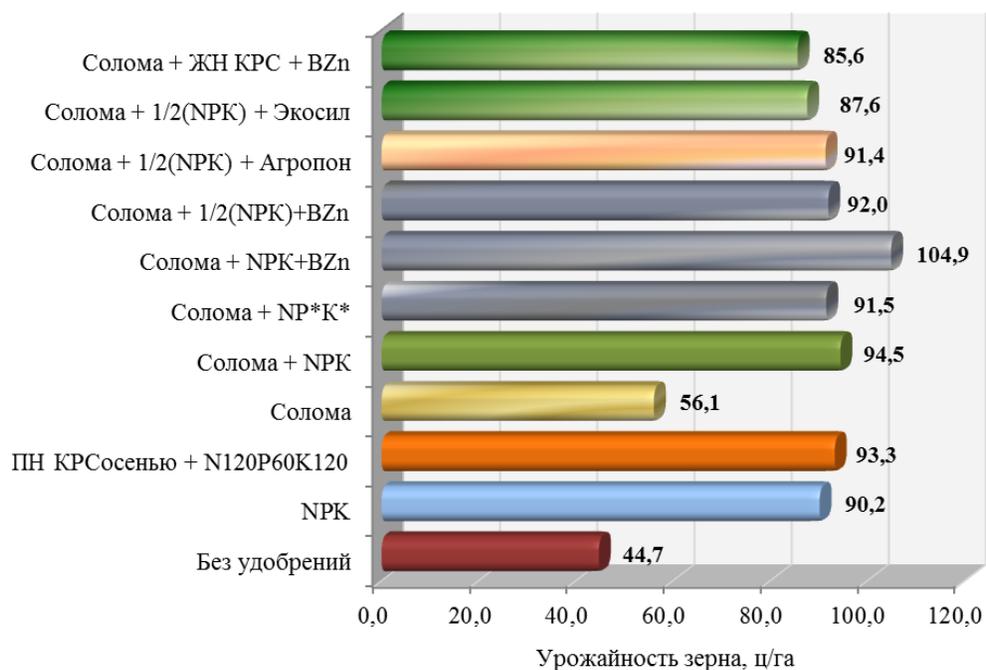


Рис. 4. Влияние разных систем удобрения на урожайность зерна кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2016–2019 гг. (HCP_{05} 6,1 ц/га)

Максимальная урожайность в блоке с внесением минеральных удобрений по фону соломы получена в варианте с полной дозой NPK и некорневой обработкой посевов микроудобрениями Адоб бор (100 г д.в./га) и Адоб цинк (150 г д.в./га) в фазу 6–8 листьев кукурузы и составила 104,9 ц/га, что на 60,2 ц/га, или на 135 %, выше, чем в неудобренном варианте, при этом прибавка урожая за счет микроудобрений составила 9,4 ц/га, или 10 %, условно чистый доход увеличился на 87 USD/га и рентабельность – на 11 % (табл. 2).

Внесение по фону соломы $N_{45+30}P_{45}K_{75}$ и некорневая обработка посевов кукурузы микроудобрениями Адоб бор (100 г д.в./га) и Адоб цинк (150 г д.в./га) в фазу 6–8 листьев кукурузы способствовали получению 92,0 ц/га зерна, что на 12,2 ц/га ниже, чем в аналогичном варианте с полной дозой NPK и практически на уровне с урожайностью, полученной за счет внесения только $N_{90+60}P_{90}K_{150}$, при этом на-

ибо более низкая себестоимость зерна (53 USD/т) получена в варианте с внесением половинной дозы NPK с микроудобрениями.

Высокая агроэкономическая эффективность получена при внесении половинной дозы NPK по фону соломы и некорневой обработке посевов кукурузы регулятором роста Агропон С в дозе 15 мл/га: урожайность составила 91,4 ц/га, условно чистый доход – 366 USD/га, рентабельность – 152 % при низкой себестоимости зерна в 52 USD/т.

Некорневая обработка посевов кукурузы микроудобрениями в варианте с запашкой соломы с жидким навозом КРС обеспечила урожайность зерна кукурузы 83,7 ц/га, при этом за счет микроудобрений получено 10,4 ц/га, или 11 %, урожая зерна, условно чистый доход увеличился на 56 USD/га.

В опыте также проводили сравнение разных сроков внесения подстилочного навоза КРС в дозе 80 т/га под кукурузу (через год). Установлено, что внесение навоза осенью под вспашку обеспечило урожайность зерна в среднем по двум полям за 3 года на уровне 65,8 ц/га, что на 21,1 ц/га, или 47 %, выше, чем в неудообренном варианте (рис. 5), тем не менее прибавка урожая не окупала затраты на данный агроприем, в этом варианте отмечена самая высокая себестоимость прибавки урожая – 132 USD/т (табл. 2).

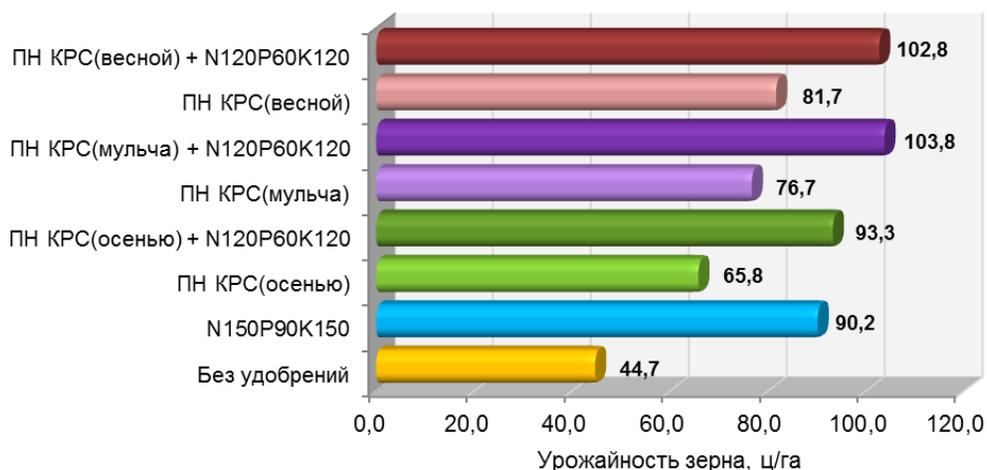


Рис. 5. Влияние разных сроков внесения навоза на урожайность зерна кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2016–2019 гг. (НСР₀₅ 6,1 ц/га)

При внесении подстилочного навоза КРС весной под вспашку получено 81,7 ц/га зерна кукурузы, что на 15,9 ц/га, или 24 %, выше, чем при осеннем его внесении. Условно чистый доход при этом составил 153 USD/га, рентабельность – 47 %. Разница в урожайности зерна кукурузы при весеннем внесении навоза и оставлении его на зиму в виде мульчи была в пределах ошибки опыта (составила 5 ц/га). В результате на 1 т ПН КРС получено при осеннем его внесении 40 кг зерна, при весеннем – 69 кг, при оставлении в виде мульчи – 60 кг зерна.

Внесение по фону подстилочного навоза КРС N₉₀₊₃₀P₆₀K₁₂₀ увеличило урожайность к фону на 21,1–27,5 ц/га. При этом наиболее высокая урожайность (102,8 и 103,8 ц/га) была в вариантах с внесением навоза весной или в виде мульчи.

Условно чистый доход и рентабельность применения удобрений составили 134–239 USD/га, или 27–45 % (табл. 2).

Применяемые системы удобрения не оказали значимого влияния на содержание крахмала (75,5–77,7 % при НСР₀₅ 2,9 %) и жира (4,8–5,1 % при НСР₀₅ 0,4 %) в зерне кукурузы, но существенно повлияли на содержание протеина (табл. 3). Минимальное содержание протеина в зерне кукурузы отмечено в неудобренном варианте – 6,9 %, при внесении подстилочного навоза КРС осенью – 7,1 %, оставлении его в виде мульчи – 6,7 %, при запашке соломы с компенсирующей дозой азота – 7,1 %, с микробиологическим удобрением Жыцень – 7,2 %. Максимальное содержание протеина (8,1–8,4 %) характерно для вариантов с внесением полных доз минеральных удобрений как при минеральной системе удобрения, так и на фоне осеннего, весеннего применения подстилочного навоза КРС и соломы с микроэлементами. Однако следует подчеркнуть, что содержание крахмала в зерне кукурузы имеет обратную зависимость в сравнении с накоплением протеина, т.е. в вариантах с более высоким содержанием протеина отмечается более низкое содержание крахмала и наоборот.

Таблица 3

Влияние удобрений на показатели качества зерна кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2016–2019 гг.

Вариант	Про-теин	Крах-мал	Жир	Кор-мовые единицы	Про-теин	Крах-мал	Жир
	процент в сухом веществе			сбор, ц/га			
Без удобрений	6,9	77,7	5,0	59	2,65	29,9	1,93
N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	8,1	75,7	4,8	118	6,26	58,7	3,76
ПН КРС (осенью)	7,1	77,2	5,0	86	4,05	43,7	2,85
ПН КРС(осенью) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	8,1	75,6	4,8	122	6,52	60,7	3,87
ПН КРС (мульча)	6,7	77,7	5,1	101	4,44	51,3	3,35
ПН КРС (мульча) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	7,8	76,0	4,8	136	6,99	67,8	4,31
ПН КРС (весной)	7,7	76,9	4,8	107	5,40	54,0	3,38
ПН КРС(весной) + N ₉₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	8,4	75,5	4,8	135	7,41	66,7	4,23
Солома + ЖН КРС, 30 т/га	7,4	76,7	5,0	103	4,98	51,6	3,36
Солома + ЖН КРС, 30 т/га + B _{0,10} Zn _{0,15}	7,4	76,8	4,8	112	5,45	56,5	3,55
Солома, 6,1 т/га	7,4	76,9	5,0	73	3,58	37,1	2,41
Солома + N ₃₇	7,1	77,2	5,0	88	4,08	44,5	2,90
Солома + Жыцень	7,2	77,0	5,1	92	4,33	46,4	3,07
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀	7,9	76,0	4,8	124	6,42	61,7	3,93
Солома + N ₉₀₊₆₀ P ₇₀ *K ₆₇ *	7,7	76,5	4,8	120	6,06	60,3	3,81
Солома+ N ₉₀₊₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ B _{0,10} Zn _{0,15}	8,2	75,5	5,0	137	7,39	68,1	4,49
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ B _{0,10} Zn _{0,15}	7,5	76,7	5,0	121	5,89	60,7	3,96
Солома+N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ +Агропон	7,6	76,4	5,0	120	5,98	60,0	3,90
Солома + N ₄₅₊₃₀ P ₄₅ K ₇₅ + Экосил	7,3	76,7	5,0	115	5,53	57,8	3,76
НСР ₀₅	0,5	2,9	0,3	8,0			

В зависимости от вариантов опыта сбор протеина с зерном кукурузы в среднем за 3 года изменялся от 2,65 до 7,41 ц/га, крахмала – от 29,9 до 68,1 ц/га, жира – от 1,93 до 4,49 ц/га. Самый высокий сбор кормовых единиц (137,4 ц/га), протеина (7,39 ц/га), крахмала (68,1 ц/га) и жира (4,49 ц/га) отмечен в варианте Солома + $N_{90+60}P_{90}K_{150}B_{0,10}Zn_{0,15}$. Близкие показатели были в варианте с внесением $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ на фоне весеннего применения подстилочного навоза КРС (табл. 3).

В среднем по опыту обеспеченность протеином 1 к.ед. кукурузы ЕС Палацио составила 50 г, крахмалом – 503 г, жиром – 32 г.

Урожайность листостебельной массы кукурузы в среднем по двум полям, в зависимости от варианта опыта, в условиях 2016–2019 гг. составила 7,8 т/га (в пересчете на влажность 16 %), изменяясь в зависимости от вариантов опыта от 5,8 т/га до 10,3 т/га, при этом на 1 ц зерна в среднем получено 1,2 ц соломы с колебанием по вариантам 0,9–1,3.

Выполнен химический анализ зерна и листостебельной массы кукурузы. Установлено, что содержание азота в зерне кукурузы было в пределах 1,15–1,39 %, в соломе – 0,63–1,05 %, фосфора в зерне – 0,49–0,74 %, в соломе – 0,32–0,53 %, калия в зерне – 0,43–0,48 %, в соломе – 1,13–1,92 %.

Важным критерием оценки влияния изучаемых систем удобрения на состояние плодородия почвы является фактическое изменение основных агрохимических показателей. Применение различных систем удобрения в опыте оказало неодинаковое влияние на изменение содержания гумуса, так как роль органических и минеральных удобрений принципиально различна. Органические удобрения прямо и косвенно влияют на гумус почвы: в почву поступает органическое вещество самих удобрений и большее количество пожнивных остатков за счет увеличения урожайности от применения удобрений. Минеральные удобрения оказывают влияние на гумус почвы преимущественно за счет прироста биомассы растительных остатков.

В вариантах с внесением соломы под кукурузу за 3 года было в среднем запахано 2,9 т/га соломы овса (предшественник кукурузы) и 15,4 т/га листостебельной массы кукурузы. При запашке соломы для создания оптимального соотношения C/N, согласно вариантам опыта, за 3 года в почву дополнительно внесено 111 кг/га азота и 150 т/га жидкого навоза КРС. В пересчете на условный навоз, за ротацию севооборота в вариантах с запашкой соломы возделываемых культур в почву внесено в среднем 64 т/га условного навоза.

В результате агрохимического анализа почвенных образцов, отобранных поделяночно перед закладкой опыта и через три года, установлено, что бездефицитный баланс гумуса обеспечила органоминеральная система удобрения, где в качестве органических удобрений применяли подстилочный навоз КРС или солому возделываемых культур (рис. 6).

При возделывании кукурузы без применения удобрений отмечено снижение содержания гумуса в почве на 0,09 %. Применение минеральных удобрений способствовало некоторому уменьшению дефицита гумуса по сравнению с неудобренным вариантом: его содержание за 3 года снизилось на 0,02 % по сравнению с исходным.

Содержание в почве подвижных форм фосфора в вариантах с органоминеральной системой удобрения (при внесении полных доз фосфорных удобрений) увеличилось на 15–36 мг/кг почвы, при внесении скорректированных доз фосфора с учетом его содержания в запаханной соломе – содержание P_2O_5 увеличилось

на 9 мг/кг почвы (рис. 7). В удобренном варианте и вариантах с органической системой удобрения, где вносили только солому и солому с жидким навозом КРС, отмечено снижение содержания подвижных форм фосфора в почве на 14–22 мг/кг почвы. В вариантах с внесением половинной дозы NPK содержание подвижных форм фосфора в почве осталось на исходном уровне.

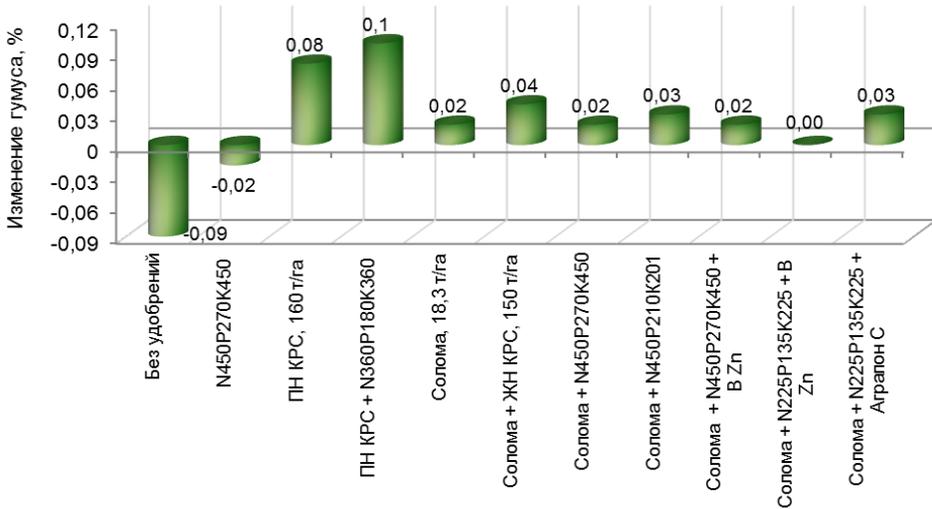


Рис. 6. Влияние систем удобрения на изменение содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

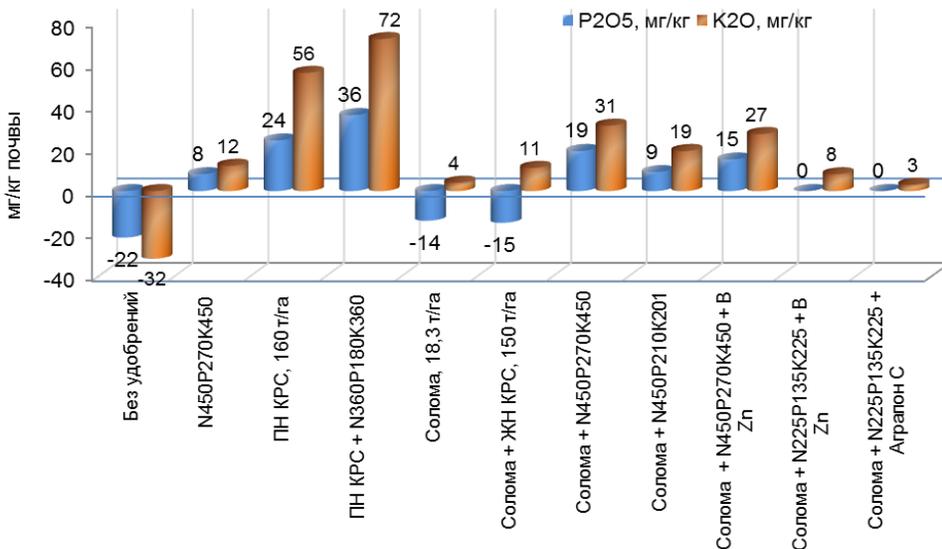


Рис. 7. Влияние систем удобрения на изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Также заметные изменения произошли и с содержанием в почве подвижных форм калия. При возделывании кукурузы бессеменно в течение трех лет отмечено снижение содержания подвижных форм калия в почве только в удобренном

варианте (на 32 мг/кг). Близким к исходному содержанию калия в почве осталось в вариантах с запашкой соломы как с компенсирующими дозами азота, так и без них, и с внесением по соломе половинной дозы NPK. Максимальное увеличение подвижных форм калия в почве (на 72 мг/кг) отмечено в вариантах с внесением минеральных удобрений по фону подстилочного навоза КРС. При внесении скорректированных доз калия с учетом его высвобождения из запаханной соломы содержание K_2O в почве также увеличилось, но в меньшей степени – на 19 мг/кг.

ВЫВОДЫ

При возделывании кукурузы на среднеоккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве максимальную урожайность зерна (104,9 ц/га) в среднем за 3 года обеспечило внесение по фону соломы $N_{90+60}P_{90}K_{150}$ с некорневой обработкой посевов микроудобрениями $B_{0,10}Zn_{0,15}$ в фазу 6–8 листьев кукурузы, что на 60,2 ц/га, или на 135 %, выше, чем в неудобренном варианте, условно чистый доход за счет применения данного агроприема составил 401 USD/га, рентабельность – 105 %, при себестоимости 1 т зерна кукурузы в 64 USD. При данной системе удобрения получен самый высокий сбор кормовых единиц (137 ц/га), протеина (7,39 ц/га), крахмала (68,1 ц/га) и жира (4,49 ц/га).

Наиболее агроэкономически эффективным было внесение по фону соломы $N_{45+30}P_{45}K_{75}$ с некорневой обработкой стимулятором роста Агропон С: урожайность составила 91,4 ц/га, условно чистый доход – 366 USD/га, рентабельность – 152 %, при себестоимости 1 т зерна кукурузы в 52 USD; микроудобрениями $B_{0,10}Zn_{0,15}$: урожайность – 92,0 ц/га, условно чистый доход – 362 USD/га, рентабельность – 143 %, себестоимость – 53 USD/т.

При размещении посевов кукурузы вблизи животноводческих комплексов эффективным приемом является внесение компенсирующей дозы азота по соломе в составе жидкого навоза КРС: в опыте урожайность зерна кукурузы составила 78,2 ц/га, условно чистый доход от данного агроприема – 287 USD/га, рентабельность – 193 %.

В хозяйствах с невысоким поголовьем скота или его отсутствием, а также на полях, отдаленных от ферм, транспортировка органических удобрений к которым связана со значительными затратами, рекомендуется заделка в почву измельченной соломы, обработанной микробиологическим удобрением Жыцень (3 л/га): в опыте урожайность зерна кукурузы составила 70,1 ц/га, условно чистый доход от применения удобрений – 234 USD/га, рентабельность – 243 %.

В среднем за 3 года по опыту обеспеченность 1 к.ед. гибрида кукурузы ЕС Палацио протеином составила 50 г, крахмалом – 503 г, жиром – 32 г.

Бездефицитный баланс гумуса с тенденцией к увеличению за ротацию севооборота обеспечила органоминеральная система удобрения, где в качестве органических удобрений применяли подстилочный навоз КРС или листостебельную массу кукурузы.

Внесение полных доз фосфорных и калийных удобрений в вариантах с запашкой соломы способствовало увеличению подвижных форм P_2O_5 в почве на 15–19 мг/кг, K_2O – на 37–31 мг/кг почвы. При внесении скорректированных доз, с учетом содержания фосфора и калия в запаханной соломе, содержание подвижных форм K_2O в почве увеличилось на 19 мг/кг, P_2O_5 – на 9 мг/кг. В вариантах с

внесением $N_{45+30}P_{45}K_{75}$ с некорневой обработкой стимулятором роста Агропон С или микроэлементами $B_{0,10}Zn_{0,15}$ содержание гумуса и подвижных форм фосфора и калия осталось на исходном уровне или близком к исходному.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по учету и применению органических удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. – 16 с.
2. Сидоров, М. И. Использование соломы на удобрение / М. И. Сидоров // Земледелие. – 1988. – № 11. – С. 48–50.
3. Богатырева, Е. В. Использование соломоразлагающих биопрепаратов в зоне неустойчивого разложения Ставропольского края / Е. В. Богатырева // Земледелие. – 2013. – № 8. – С. 14–16.
4. Серая, Т. М. Темпы разложения соломы сельскохозяйственных культур в дерново-подзолистых почвах / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, О. М. Бирюкова // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 4(83). – С. 6–9.
5. Русакова, И. В. Воспроизводство плодородия почв на основе использования возобновляемых биоресурсов / И. В. Русакова // Агрохимический вестник. – 2013. – № 4. – С. 7–12.
6. Землянов, И. Н. Применение соломы и минеральных удобрений в зернопашном севообороте / И. Н. Землянов // Земледелие. – 2007. – № 6. – С. 18–19.
7. Русакова, И. В. Оценка влияния длительного применения соломы на производство органического вещества дерново-подзолистой почвы / И. В. Русакова, А. И. Еськов // Докл. Рос. сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 5. – С. 28–31.
8. Halloran, J. P. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management / J. P. Halloran, R. G. Kachanoski, W. B. Stewart // Canad. J. of Soil Sci. – 1985. – V. 65. – № 3. – P. 475–487.
9. Wagar, B. I. Changes with time in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on chernozemic soils / B. I. Wagar, J. W. B. Stewart, J. O. Moir // Canad. J. of Soil Sci. – 1986. – V. 66. – № 1. – P. 105–119.
10. Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от ее видового состава и удобрения азотом / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 70–77.

THE INFLUENCE OF DIFFERENT FERTILIZER SYSTEMS ON THE AGRO-ECONOMIC EFFICIENCY OF CULTIVATION OF CORN FOR GRAIN ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

T. M. Seraya, E. N. Bogatyrova, S. A. Kasyanchik,
T. M. Kirdun, Y. A. Belyavskaya, M. M. Torchilo

Summary

In the field technological experience on sod-podzolic sandy loam soil it was found that the most agroeconomically effective was the $N_{45+30}P_{45}K_{75}$ application on the background of straw with non-root treatment with Agropon C growth stimulant: the yield was

11.3 t/ha, conditional net income – 485 USD/ha, profitability – 174 % at the cost of 1 ton of corn grain gain 47 USD. With this system of fertilizer, the content of humus and mobile forms of phosphorus and potassium for the years of study remained at the initial level or close to the one.

Поступила 06.12.19

УДК 631.816:[633.12+633.491]:631.445.24

ВЛИЯНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ГРЕЧИХИ И КАРТОФЕЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

**Г. В. Пироговская, С. С. Хмелевский, В. И. Сороко, О. И. Исаева,
И. Н. Некрасова, Е. Н. Голоскок, Е. Н. Миронова**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

По своему физиолого-биологическому значению сера для растений находится в одном ряду с азотом, фосфором и калием. Она входит в состав белков, растительных масел, ферментов, витаминов, фитонцидов, играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах в растениях, участвует в процессах дыхания и синтеза незаменимых аминокислот, витаминов, ферментов, в углеводном и азотном обмене, синтезе хлорофилла и ассимиляции нитратов растениями, принимает активное участие в азотном обмене, круговороте элементов (K, Ca, Mg, Al), способствует синтезу растительных белков. Недостаток этого элемента в почве снижает содержание хлорофилла в листьях, задерживает деление и рост клеток растений.

При невысоком уровне урожайности потребление растениями серы компенсируется, как правило, за счет высвобождения ее из минеральных и органических соединений почвы, а также за счет привнесения с атмосферными выпадениями и удобрениями. Однако вследствие существенного снижения в последние годы выбросов промышленными предприятиями сульфатов в атмосферу, применения высококонцентрированных удобрений, увеличения общей урожайности сельскохозяйственных культур, уменьшения объемов внесения органических удобрений, изменения структуры севооборотов, в ряде случаев наблюдается дефицит серы, что является причиной отрицательного баланса этого элемента в пахотных почвах и негативно влияет на урожайность и качество продукции.

В мировой практике применяется широкий ассортимент серосодержащих удобрений: сульфат аммония (24 % S), суперфосфат (13 % S), элементарная гранулированная сера (90 % S), сульфат аммония-натрия (22,6 % S), сульфат калия (17–18 % S), калимагnezия (15 % S), калимаг (13 % S), сульфат магния (28,6 % S), азофоска с серой (2 % S), азотосульфат (3–14 % S), сульфоаммофос (8–14 % S), сульфонитрат (5–7 % S), диамофоска с серой (1–3 % S), микроудобрения – мар-

ганец сернокислый пятиводный (14–17 % S), сульфат цинка семиводный (11 % S), фосфогипс (23,4 % серы) и др. В Республике Беларусь, а также в других странах основным серосодержащим удобрением являлся сульфат аммония, содержащий 20,5 % азота и 24,0 % серы.

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по влиянию серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. Так, например, в исследованиях Т. М. Германович, И. М. Богдевича, Г. В. Пироговской, О. М. Таврыкиной, Я. В. Докшина, М. С. Полтораднева и др. отмечается положительное влияние серы на увеличение урожайности ряда сельскохозяйственных культур, и, прежде всего, культур требовательных или отзывчивых на ее внесение. Исследованиями установлено улучшение показателей качества продукции возделываемых культур за счет повышения накопления сахаров, белка, витаминов, пигментов и др. [1–7].

В последние годы в Республике Беларусь появились новые формы твердых гранулированных удобрений (сульфат аммония гранулированный без добавок и с добавками гуматов и микроэлементов), а также жидкие серосодержащие удобрения. Имеется техническая документация на производство жидких азотно-серосодержащих удобрений на ОАО «Гродно Азот» – КСА–21 (N–S = 21–8) и КСА–23 (N–S = 23–8), на ОАО «СветлогорскХимволокно» – АСУ₁ (N–S) = 20–4 и АСУ₂ (N–S = 12–8), которые могут выпускаться как без добавок, так и с модифицирующими добавками микроэлементов (Свежка).

В связи с вышеизложенным считаем, что исследования, направленные на разработку рациональных систем внесения серосодержащих удобрений под культуры наиболее отзывчивые (гречиха) и отзывчивые на внесение серы (картофель) с оценкой их действия урожайность и качество продукции, являются важными и имеют большое народнохозяйственное значение, это и определило цель и задачи наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния разных форм минеральных серосодержащих удобрений проводили в период 2018–2019 гг. при возделывании гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. Общий размер делянки – 27 м², повторность вариантов – 4-кратная, предшественники: для гречихи – картофель (2018–2019 гг.); для картофеля – гречиха (2018–2019 гг.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв (0–25 см) перед закладкой опытов с сельскохозяйственными культурами была следующая:

- с гречихой в 2018 г.: pH – 5,80; P₂O₅ – 617 мг/кг почвы; K₂O – 344; Ca – 1123; Mg – 84 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,14 %; в 2019 г.: pH – 5,80; P₂O₅ – 463 мг/кг почвы; K₂O – 232; Ca – 1062; Mg – 108 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,90 %;
- с картофелем в 2018 г.: pH – 5,89; P₂O₅ – 579 мг/кг почвы; K₂O – 373; Ca – 1482; Mg – 117 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,46 %; в 2019 г.: pH – 6,02; P₂O₅ – 516 мг/кг почвы; K₂O – 273; Ca – 1220; Mg – 107 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,81 %.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву применяли: *в базовом варианте* – стандартные туки (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый), КАС и карбамид жидкий; *испытываемые удобрения* – сульфат аммония гранулированный без добавок и с добавками гуматов, бора, бора и гуматов – выпуск налажен или планируется на ООО «Белагроферт»; жидкие серосодержащие удобрения без добавок АСУ₁ (N–S) = 20–4 и с модифицирующими добавками микроэлементов (Свежка) – ОАО «СветлогорскХимв олокло»; сульфоаммофос марок 10–22–S(14)–CaO(14), 13–28–S(11)–CaO(6) и 16–26–S(12)–CaO(1) – ОАО «Гомельский химический завод».

Закладку и проведение опытов проводили в соответствии с методическими указаниями. Уход за посевами сельскохозяйственных культур в опытах проводили согласно технологическим регламентам их возделывания. Обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней осуществлялась препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [8]. Исследования проводили согласно существующим методикам по закладке полевых опытов [9, 10].

Почвенные образцы отбирали в полевых опытах из пахотного горизонта почвы, в которых определяли изучаемые показатели:

- гумус – по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (KCl) – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);
- кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- содержание серы – по ГОСТ 26490-85;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85;

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили согласно существующих ГОСТ и ОСТ:

- отбор проб – ГОСТ 18691-83;
- определение азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы после мокрого озоления общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26570-95; магний – ГОСТ 30502-97 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре, сера – фотоколориметрическим методом;
- сухое вещество – весовым методом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова: $ГТК = (\Sigma X * 10) / \Sigma T$, где: ΣX – сумма атмосферных осадков за период; ΣT – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [10].

Температура воздуха и количество атмосферных осадков приведены по данным наблюдений Гидрометцентра и в экспериментальной базе им. Котовского Узденского района, а также лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ОАО «Гастелловское» Минского района, Минской области в условиях 2018 г. во время вегетации сельскохозяйственных культур (апрель–сентябрь) гидротермический коэффициент составил 1,05, что соответствует слабозасушливому вегетационному периоду. При этом распределение атмосферных осадков по месяцам было неравномерным. Так, острый дефицит влаги растения испытывали во время роста и развития в апреле, мае и июне, когда выпадало 21,4 мм, 22,2 и 24,6 мм атмосферных осадков соответственно. Эти месяцы характеризовались как очень засушливые – ГТК = 0,40–0,64. В июле выпало наибольшее количество осадков – 171,8 мм, что выше среднегодовой нормы в 1,9 раза, и месяц характеризовался как влажный (ГТК = 2,69). В августе количество атмосферных осадков снизилось до 52,2 мм (ГТК = 0,81), что создало также дефицит влаги.

В 2019 г. ГТК с мая по сентябрь составил 1,04 (слабозасушливый). Распределение атмосферных осадков по месяцам было неравномерным: в апреле атмосферных осадков вовсе не выпадало, в мае – 48,9 мм (80,2 % от среднегодовой нормы), июне – 40,8 мм (49,8 %), июле – 65,4 мм (72,2 %), августе – 89,5 мм (107,8 %), сентябре – 17,0 мм (28,8 % от нормы).

Урожайность гречихи (сорт Купава) при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях 2018 г. была низкой, на контроле без применения удобрений составила 8,2 ц/га, в фоновом варианте ($N_{12}P_{45}K_{90}$) – 9,9 ц/га, в вариантах с полным минеральным удобрением – от 11,0 до 16,3 ц/га. Достоверное увеличение урожайности зерна гречихи к базовому варианту было получено при внесении сульфоаммофоса марки 10–22–S(14)–CaO(14), сульфата аммония гранулированного с добавкой регулятора роста растений Гидрогумат и с добавкой бора и гуматов, а также сульфоаммофоса марки 16–26–S(12)–CaO(1), где в качестве азотного удобрения использовали карбамид жидкий (табл. 1).

В 2019 г. была получена высокая урожайность зерна гречихи: на контроле – 18,8 ц/га, в фоновом варианте ($N_{12}P_{45}K_{90}$) – 25,0 ц/га, в вариантах с полным минеральным удобрением – от 30,4 до 38,8 ц/га, что в зависимости от варианта опыта выше в 2,1–3,1 раза по сравнению с 2018 г.

Достоверное увеличение урожайности зерна гречихи к базовому варианту было получено при использовании в качестве азотного удобрения сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами – 7,7 ц/га, сульфата аммония гранулированного с гуматами – 5,7, сульфата аммония гранулированного с бором – 3,9, сульфата аммония гранулированного в разных дозах – 2,7–2,9 ц/га. Внесение в опыте разных марок сульфоаммофоса на фоне азотных и калийных удобрений также оказалось высокоэффективным, обеспечив достоверное увеличение урожайности зерна гречихи на 2,7–3,9 ц/га. Что касается использования в опыте с гречихой жидких азотно-серосодержащих удобрений, то эффективным было использование только азотно-серосодержащего удобрения с добавками микроэлементов Свежка – прибавка к базовому составила 4,0 ц/га.

**Влияние серосодержащих удобрений на урожайность гречихи (ц/га)
при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве
в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2018–2019 гг.**

Вариант	2018 г.	2019 г.	сред- няя за 2 года	+/- к базо- вому
Контроль без удобрений	8,2	18,8	13,5	–
N ₁₂ P ₄₅ K ₉₀ – фон	9,9	25,0	17,5	–
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый	12,2	31,1	21,7	–
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с Nm жидким)	14,0	32,5	23,3	1,6
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с КАС)	11,6	32,1	21,9	0,2
<i>Сульфоаммофос</i>				
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	14,3	35,0	24,7	3,0
N ₇₀ P ₅₃ K ₁₀₅ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	11,3	33,8	22,6	0,9
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (КАС и сульфоаммофос 13–28–S(11)–CaO(6))	13,5	34,8	24,2	2,5
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Nm жидкий и сульфоаммофос 16–26–S(12)–CaO(1))	16,3	34,4	25,4	3,7
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (КАС и сульфоаммофос 16–26–S (12)–CaO(1))	12,2	34,6	23,4	1,7
<i>Сульфат аммония</i>				
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na мелкокристаллический)	12,5	31,4	22,0	0,3
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный)	13,2	34,0	23,6	1,9
N ₇₀ P ₅₃ K ₁₀₅ (Na гранулированный)	11,0	33,8	22,4	0,7
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с гуматами)	14,4	36,8	25,6	3,9
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с бором)	13,5	35,0	24,3	2,6
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с бором и гуматами)	15,1	38,8	27,0	5,3
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>				
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (АСУ ₁)	11,4	30,4	20,9	–0,8
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Свежка)	13,6	35,1	24,4	2,7
НСР ₀₅	2,04	2,69	2,39	

Nm – мочевина (карбамид), Na – сульфат аммония.

Средняя урожайность зерна гречихи за два года исследований составляла, в зависимости от вариантов опыта, от 13,5 (контроль без удобрений) до 17,5–27,0 ц/га (варианты с удобрениями). При этом следует отметить, что в вариантах со стандартными азотными удобрениями (карбамид гранулированный, сульфат аммония мелкокристаллический и КАС на фоне РК) урожайность зерна гречихи существенно не отличалась. Применяемые в опыте серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение урожайности зерна гречихи на 0,3–5,3 ц/га относительно базового варианта с использованием смеси стандартных удобрений. Эффективными были варианты с внесением удобрений в дозе N₆₀P₄₅K₉₀ и сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, с

прибавкой 5,3 ц/га, сульфата аммония гранулированного с гуматами – 3,9, сульфоаммофоса 16–26–S(12)CaO(1) на фоне карбамида жидкого – 3,7, сульфоаммофоса 10–22–S(14)–CaO(14) на фоне карбамида стандартного – 3,0, жидкого азотно-серосодержащего удобрения с микроэлементами – 2,7, сульфата аммония гранулированным с бором – 2,6 и сульфоаммофоса 13–28–S(11)CaO(6) на фоне КАС – 2,5 ц/га. Следует отметить, что повышенные дозы минеральных удобрений ($N_{70}P_{53}K_{105}$) незначительно снижали урожайность зерна гречихи по сравнению с оптимальной дозой.

Качество зерна гречихи оценивалось по массе 1000 зерен, определению качества крупы (в том числе общий выход, выровненность, ядрица, продел, коэффициент разваримости, цвет, вкус, консистенция) и содержанию основных элементов питания (табл. 2).

Масса 1000 зерен гречихи в условиях 2018 г. изменялась в пределах от 26,48 (контроль) до 26,56–28,27 г (варианты с удобрением), в 2019 г. – от 29,34 до 27,66–29,95 г, без существенных различий по данному показателю качества между вариантами опыта ($НСР_{05} = 1,812$ и $1,935$ соответственно).

Общий выход крупы в зависимости от вариантов опыта изменялся от 52,3 % на контроле до 54,0–72,0 % в вариантах с удобрениями. Применение полной дозы удобрений в опыте оказывало положительное влияние на данный показатель качества, преимущественно увеличивая общий выход крупы по отношению к контролю на 1,7–19,7 % и по отношению к фону на 2,8–16,8 %. Внесение в опыте в качестве серосодержащих удобрений сульфата аммония мелкокристаллического и гранулированного, жидкого азотно-серосодержащего удобрения без микроэлементов на фоне внесения карбамида и хлористого калия, а также сульфоаммофоса марки 13–28–S(11)–CaO(6) на фоне КАС и хлористого калия достоверно увеличивали общий выход крупы относительно базового варианта на 6,0–8,8 %. Наблюдалось также увеличение данного показателя на 6,9 % при внесении в опыте смеси стандартных удобрений с карбамидом жидким. Что касается использования в смеси со стандартными туками сульфоаммофоса марки 10–22–S(14)–CaO(14) в дозе $N_{60-70}P_{45-53}K_{90-105}$, его применение снижало общий выход крупы по отношению к базовому варианту на 5,2–9,2 %.

Показатель выровненности по вариантам опыта изменялся от 90,5 % до 98,1 %, с максимальными значениями в вариантах с внесением серосодержащих удобрений: жидкого азотно-серосодержащего удобрения с микроэлементами, сульфата аммония мелкокристаллического и гранулированного, сульфоаммофоса 16–26–S(12)–CaO(1) в дозе $N_{60}P_{45}K_{90}$, а также сульфоаммофоса 10–22–S(14)–CaO(14) в дозе $N_{70}P_{53}K_{105}$.

Применение в опыте полных доз удобрений увеличивало содержание ядрицы по сравнению с контролем на 5,6–50,8 % и на 4,2–49,4 % по отношению к фону. Внесение в опыте изучаемых серосодержащих удобрений способствовало тенденции увеличения или достоверно увеличивало содержание ядрицы относительно базового варианта на 7,2–37,2 %. Исключение составили варианты с применением сульфоаммофоса марки 10–22–S(14)–CaO(14) в дозе $N_{60-70}P_{45-53}K_{90-105}$, где наблюдалось достоверное ее снижение на 4,1–8,0 %, при $НСР = 2,53$ %. Продел в вариантах опыта находился в пределах от 4,0 до 18,6 %, коэффициент разваримости составлял – 4,5–6,0, цвет и вкус оценивался в 4–5 баллов, консистенция во всех вариантах рассыпчатая.

Таблица 2

Показатели качества крупы гречихи при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве
в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2019 г.

Вариант	Общий выход крупы, %	Выво-ненность, %	Ядри-ца, %	Про-дел, %	Коэффи-цент разва-рности	Цвет, балл	Вкус, балл	Консистенция
Контроль без удобрений	52,3	92,8	30,5	15,4	5,5	4	4	Рассыпчатая
N ₁₂ P ₄₅ K ₉₀ – фон	55,2	96,3	31,9	17,4	5,8	4	4	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулирован-ным) – базовый	63,2	95,3	44,1	15,0	5,2	4	4	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с Nm жидким)	70,1	96,5	44,4	18,6	5,5	4	4	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (смесь стандартных удобрений с КАС)	70,0	96,7	62,0	4,5	5,6	4	5	Рассыпчатая
Сульфаммофос								
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Nm и сульфаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	58,0	93,1	40,0	12,5	6,0	4	4	Рассыпчатая
N ₇₀ P ₅₃ K ₁₀₅ (Nm и сульфаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	54,0	96,9	36,1	13,4	5,6	4	4	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (КАС и сульфаммофос 13–28–S(11)–CaO (6))	71,2	95,8	60,0	8,0	5,0	4	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Nm жидкий и сульфаммофос 16–26–S(12)–aO(1))	58,4	96,9	46,1	7,5	4,7	4	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (КАС и сульфаммофос 16–26–S (12)–CaO(1))	65,8	94,9	54,2	6,8	4,7	5	5	Рассыпчатая
Сульфат аммония								
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na мелкокристаллический)	72,0	97,1	54,0	12,6	4,9	4	4	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный)	69,2	96,9	46,6	14,7	5,3	4	5	Рассыпчатая
N ₇₀ P ₅₃ K ₁₀₅ (Na гранулированный)	72,0	98,1	52,1	13,7	5,3	4	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с гуматами)	65,0	90,5	54,5	4,0	4,5	4	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с бором)	63,5	94,9	81,3	7,8	5,2	5	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Na гранулированный с бором и гуматами)	63,4	96,3	51,3	7,5	4,9	5	5	Рассыпчатая
Жидкие серосодержащие удобрения								
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (АСУ ₁)	70,7	95,8	58,6	4,9	4,9	4	5	Рассыпчатая
N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀ (Свежка)	63,5	97,5	53,4	6,1	4,6	4	5	Рассыпчатая
НСР ₀₅	3,73	–	2,53	–	–	–	–	–

Nm – мочеви́на (карбамид), Na – сульфат аммония.

Содержание общего азота в годы исследований по вариантам опыта изменялось от 1,70 % (контроль) до 1,76–2,23 % (варианты с удобрениями). Внесение в опыте с гречихой удобрений обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение содержания общего азота в зерне по сравнению с контролем на 0,06–0,53 %.

При применении разных форм серосодержащих удобрений под гречиху наблюдалось увеличение общего азота в зерне по сравнению с базовым вариантом на 0,13–0,43 %, за исключением вариантов с использованием жидких азотно-серосодержащих удобрений без добавок ($АСУ_1$) и с добавками микроэлементов (Свежка) на фоне РК. Содержание фосфора в вариантах опыта изменялось от 0,68 до 0,78 %, калия – от 0,57 до 0,70 %, кальция – от 0,02 до 0,03 % и магния – от 0,27 до 0,31 %.

Известно, что оптимальное соотношение $N_{общ.} : S_{общ.}$ в растениях составляет 17–18,5:1 (по другим данным – 15:1), более высокое соотношение азота к сере указывает на дефицит серы.

В зерне гречихи соотношение $N_{общ.} : S_{общ.}$ в вариантах опыта изменялось от 19,4 на контроле до 18,8–25,5 в вариантах с удобрениями, с преимущественной тенденцией увеличения значений в вариантах с использованием серосодержащих удобрений, и в целом свидетельствовало о дефиците серы.

Урожайность картофеля (сорт Волат) при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях 2018 г. изменялась в зависимости от варианта опыта от 303 ц/га (контроль) до 366–499 ц/га (варианты с удобрениями), (табл. 3).

Среди азотных стандартных удобрений наиболее эффективным под картофель, по сравнению с карбамидом стандартным и жидким, а также КАС, в 2018 г. оказался сульфат аммония. Применение в опыте разных форм и доз серосодержащих удобрений оказывало тенденцию или достоверное увеличение урожайности клубней картофеля по сравнению с базовым вариантом. Наиболее эффективным было внесение сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, обеспечившее достоверную прибавку клубней в размере 105 ц/га, сульфата аммония гранулированного с бором – 81, сульфата аммония гранулированного в разных дозах – 58–94, сульфата аммония гранулированного с гуматами – 73 ц/га. Применение сульфоаммофоса марок: 16–26–S(12)–CaO (1) и 13–28–S(11)–CaO(6) (на фоне $N_{90}P_{68}K_{135}$) увеличивало урожайность клубней картофеля на 68–69 ц/га (табл. 3).

В условиях вегетации 2019 г. была получена высокая урожайность клубней картофеля сорта Королева Анна: на контроле она составила 461 ц/га, в вариантах с РК и NPK – 585–880 ц/га и была выше в 1,5–2,0 раза (в зависимости от вариантов опыта) по сравнению с 2018 г.

Использование в опыте азотно-серосодержащих удобрений: сульфата аммония гранулированного с добавками бора, гуматов, бора и гуматов в дозе N_{90} на фоне $P_{68}K_{135}$, а также сульфата аммония гранулированного в дозе N_{120} на фоне $P_{90}K_{180}$ – было высокоэффективным, обеспечив прибавку урожайности клубней к базовому варианту на уровне 64–135 ц/га. Внесение сульфоаммофоса 16–26–S (12)–CaO(1) на фоне хлористого калия и КАС обеспечило прибавку урожайности клубней в размере 84 ц/га, внесение жидкого азотно-серосодержащего удобрения с микроэлементами – 77 ц/га.

**Влияние серосодержащих удобрений на урожайность картофеля (ц/га)
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское»
Минского района Минской области, 2018–2019 гг.**

Вариант	2018 г.	2019 г.	Средняя за 2 года	+/- к базовому
Контроль без удобрений	303	461	382	–
N ₁₈ P ₆₈ K ₁₃₅ – фон	366	585	476	–
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый	394	745	570	–
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с Nm жидким)	428	732	580	10
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с КАС)	403	771	587	17
<i>Сульфоаммофос</i>				
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	416	734	575	5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	409	714	562	-8
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (КАС и сульфоаммофос 13–28–S(11)CaO(6))	463	746	605	35
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Nm жидкий и сульфоаммофос 16–26–S(12)–CaO(1))	433	791	612	42
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (КАС и сульфоаммофос 16-26 с S (12 %) и CaO (1 %))	462	829	646	76
<i>Сульфат аммония</i>				
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na мелкокристаллический)	433	737	585	15
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный)	452	744	598	28
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀ (Na гранулированный)	488	816	652	82
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с гуматами)	467	809	638	68
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с бором)	475	851	663	93
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с бором и гуматами)	499	880	690	120
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>				
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (АСУ ₁)	426	750	588	18
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Свежка)	411	822	617	47
НСР ₀₅	55,7	61,1	58,5	

Nm – мочевины (карбамид), Na – сульфат аммония.

Средняя урожайность клубней картофеля за два года исследований в вариантах изменялась от 382 ц/га (контроль без удобрений) до 476–690 ц/га (варианты с удобрениями). Применяемые серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение урожайности клубней на 5–120 ц/га относительно базового варианта. Эффективными были варианты с внесением удобрений в дозе N₉₀P₆₈K₁₃₅: сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, с прибавкой 120 ц/га, сульфата аммония гранулированного с бором – 93, сульфоаммофоса 16–26–S(12)–CaO(1) – 76, сульфата аммония гранулированного с гуматами – 68, а также вариант с внесением удобрений в дозе N₁₂₀P₉₀K₁₈₀, где в качестве серосодержащего удобрения применялся сульфат аммония гранулированный – 82 ц/га (табл. 3)

Качество клубней картофеля оценивалось по товарности клубней, содержанию в них крахмала, нитратов (табл. 4) и основных элементов питания.

Таблица 4

Показатели качества клубней картофеля при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, 2018–2019 гг.

Вариант	Товарность, %		Крахмал, %		Содержание нитратов, мг/кг сырой массы	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль без удобрений	85,0	79,1	11,0	11,6	124	55
N ₁₈ P ₆₈ K ₁₃₅ – фон	86,6	87,1	10,9	11,6	83	102
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый	86,8	89,2	10,4	11,6	135	135
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с Nm жидким)	86,5	87,4	10,9	11,5	190	97
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (смесь стандартных удобрений с КАС)	87,2	93,0	11,1	11,1	93	99
<i>Сульфоаммофос</i>						
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	86,1	89,3	10,4	11,2	181	106
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀ (Nm и сульфоаммофос 10–22–S(14)–CaO(14))	89,2	91,5	10,3	11,4	128	128
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (КАС и сульфоаммофос 13–28–S(11)CaO(6))	89,1	92,3	11,2	11,1	88	122
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Nm жидкий и сульфоаммофос 16–26–S(12)–CaO(1))	88,0	92,9	10,6	11,3	117	150
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (КАС и сульфоаммофос 16-26 с S (12 %) и CaO (1 %))	90,2	90,4	10,6	11,3	97	119
<i>Сульфат аммония</i>						
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na мелкокристаллический)	86,2	96,4	10,9	11,1	129	99
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный)	86,5	93,4	10,4	11,5	171	79
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀ (Na гранулированный)	86,2	95,4	10,8	11,4	115	103
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с гуматами)	89,1	95,7	10,2	11,6	141	130
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с бором)	89,2	91,0	10,7	11,1	125	151
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Na гранулированный с бором и гуматами)	87,6	92,6	10,9	11,1	140	100
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>						
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (АСУ ₁)	89,7	90,5	11,0	11,3	90	123
N ₉₀ P ₆₈ K ₁₃₅ (Свежка)	89,8	95,0	10,3	11,6	143	137
НСР ₀₅	5,32	5,46	0,73	0,59	–	–

Nm – мочевина (карбамид), Na – сульфат аммония.

Товарность клубней картофеля сорта Волат (2018 г.) и сорта Королева Анна (2019 г.) в контрольном варианте составляла 85 % и 79,1 %, соответственно. Внесение минеральных удобрений способствовало тенденции увеличения то-

варности на 1,1–5,2 % (86,1–90,2 %) в 2018 г. и достоверному увеличению на 8,0–17,3 % (87,1–96,4 %) в 2019 г. Серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию увеличения товарности клубней в условиях 2018 г. по сравнению с базовым вариантом до 3,4 % и тенденцию или достоверное увеличение на 1,2–7,2 % в 2019 г. (табл. 4).

Содержание крахмала в вариантах опыта в условиях 2018 г. изменялось от 10,3 до 11,2 %, при содержании на контроле – 11,0 %, в фоновом варианте – 10,9, базовом варианте – 10,4 %. Применение удобрений в опыте обеспечивало преимущественную тенденцию уменьшения содержания крахмала в клубнях картофеля по отношению к контрольному варианту. Что касается использования в опыте разных форм и доз серосодержащих удобрений, то существенное влияние на содержание крахмала в клубнях по отношению к базовому варианту оказало только внесение смеси стандартных туков с КАС и сульфоаммофосом 13–28–S(11)–CaO(6) в дозе $N_{90}P_{68}K_{135}$ – увеличение на 0,8 %. В 2019 г. данный показатель качества клубней картофеля изменялся от 11,1 до 11,6 % с тенденцией преимущественного снижения крахмала от применяемых удобрений по отношению к контрольному и базовому вариантам.

Содержание нитратов в клубнях картофеля в вариантах опыта изменялось от 83 до 190 мг/кг сырой массы в 2018 г. (уборка до сентября) и от 50 до 151 мг/кг сырой массы в 2019 г. (уборка в сентябре) и не превышало уровня предельно допустимых концентраций (ПДК при ранних сроках уборки составляет 225 мг/кг сырой массы, при поздних – 150 мг/кг сырой массы) (табл. 4).

Содержание общего азота в клубнях картофеля в годы исследований составляло: на контроле – 1,04 %, в фоновом варианте – 1,02 %, в базовом варианте – 1,58 %, в вариантах с применением разных форм азотных и серосодержащих удобрений – 1,33–1,70 %. Применяемые NPK удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение содержания общего азота в клубнях на 0,29–0,66 % по сравнению с контрольным вариантом, где они не применялись, и на 0,31–0,68 % по отношению к фону. Вместе с тем не отмечалось существенных различий в вариантах с внесением серосодержащих удобрений и базовым вариантом. Содержание фосфора в вариантах опыта находилось в пределах 0,60–0,68 %, калия – 3,19–3,80 %, кальция – 0,03–0,04 % и магния – 0,13–0,16 %.

Содержание серы в клубнях картофеля изменялось от 0,12 до 0,17 %. При этом четкой зависимости содержания серы в клубнях от вносимых форм удобрений не наблюдалось.

Соотношение азота к сере было наименьшим в контрольном варианте – 8,5, при внесении удобрений наблюдалось его увеличение до 9,0–13,9 с приближением к оптимальным значениям.

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при возделывании гречихи и картофеля позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение серосодержащих удобрений в дозе $N_{60}P_{45}K_{90}$ обеспечивает тенденцию или достоверное увеличение урожайности зерна гречихи на 0,3–5,3 ц/га относительно базового варианта, с максимальными прибавками зер-

на от внесения: сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами (5,3 ц/га), сульфата аммония гранулированного с гуматами (3,9 ц/га), сульфоаммофоса 16–26–S(12)–CaO(1) на фоне карбамида жидкого (3,7 ц/га), сульфоаммофоса 10–22–S(14)–CaO(14) на фоне карбамида стандартного (3,0 ц/га), жидкого азотно-серосодержащего удобрения с микроэлементами (2,7 ц/га), сульфата аммония гранулированным с бором (2,6 ц/га) и сульфоаммофоса 13–28–S(11)–CaO(6) на фоне КАС (2,5 ц/га).

2. Серосодержащие удобрения улучшали качество зерна гречихи за счет увеличения общего выхода крупы на 6,8–8,8 % и ядрицы на 7,2–37,2 % относительно базового варианта.

3. Внесение серосодержащих удобрений под картофель обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение урожайности клубней на 5–120 ц/га с повышением товарности клубней по сравнению с применением стандартных удобрений без серы. Эффективными были удобрения в дозе $N_{90}P_{68}K_{135}$: сульфат аммония гранулированный с бором и гуматами с прибавкой 120 ц/га, сульфат аммония гранулированный с бором – 93 ц/га, сульфоаммофос 16–26–S(12)–CaO(1) – 76 ц/га, сульфат аммония гранулированный с гуматами – 68 ц/га и сульфат аммония гранулированный ($N_{120}P_{90}K_{180}$) – 82 ц/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Германович, Т. М.* Серосодержащие удобрения как фактор повышения урожайности ярового ячменя и повышения качества продукции / Т. М. Германович // Почвенные исследования и применение удобрений: межвед. тематич. сб. / Белорус. науч.-исслед. институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 1997. – Вып. 24. – С. 87–97.

2. *Германович, Т. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня содержания серы в дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Т. М. Германович; Академия аграрных наук Республики Беларусь, Научно-исслед. госуд. предприятие «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 1998. – 17 с.

3. *Богдевич, И. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия. – 1998. – Вып. 30. – С. 141–146.

4. Применение новых форм жидких азотно-серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.] // РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии», ОАО «Светлогорскимволокно». – Минск: [б. и.], 2012. – 31 с.

5. *Полтораднев, М. С.* Эффективность азотного серосодержащего удобрения NS 30:7 при возделывании ярового рапса в Северной Европе / М. С. Полтораднев, Т. В. Гребенникова // Земледелие. – 2015. – № 8. – С.37-38.

6. Вариабельность химического состава урожая яровой пшеницы в зависимости от серосодержащих удобрений и погодных условий / М. Ю. Гилязов [и др.] // Сб. науч. тр. / ФГБОУ ДПОС «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса». – Казань, 2015. – Вып. 9: Проблемы развития аграрного сектора в условиях экономических санкций, импортозамещения: вопросы стратегии и тактики. – С. 360–366.

7. Захарова, Д. Продуктивность и показатели качества зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян серосодержащими соединениями / Д. Захарова, В. Смывалов // Главный агроном. – 2016. – № 9. – С. 14–17.

8. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: ООО «Промкомплекс», 2017. – 687 с.

9. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с.

10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

EFFECT OF SULFUR-CONTAINING FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF BUCKWHEAT AND POTATO TUBERS ON SOD-PODSOLIC LIGHT LOAMY SOIL

**G. V. Pirahouskaya, S. S. Khmelevskij, V. I. Soroko, O. I. Isaeva,
I. N. Nekrasova, E. N. Goloskok, E. N. Mironova**

Summary

The article presents the data on the influence of various forms of sulfur-containing mineral fertilizers on productivity and grain quality of buckwheat and potato tubers when growing on sod-podzolic light loamy soil. The most effective forms of sulfur-containing fertilizers were found.

Поступила 09.12.19

УДК 631.816:[631.559:633.853.494]:631.445.24

ВЛИЯНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОЗИМОГО И ЯРОВОГО РАПСА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ РЫХЛОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**Г. В. Пироговская, В. И. Сороко, С. С. Хмелевский, О. И. Исаева,
И. Н. Некрасова, Е. Н. Голоскок, Е. Н. Миронова**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее отзывчивыми на внесение серосодержащих удобрений являются в первую очередь культуры требовательные к содержанию серы в почве – рапс яровой и озимый, капуста и другие крестоцветные культуры (редька масличная, горчица белая), гречиха, озимая и яровая пшеница, отзывчивые на внесение серы и

аммонийной формы азотного удобрения – картофель, сахарная свекла, кормовые культуры, бобовые и другие зерновые культуры, культуры, лучше произрастающие при слабокислой реакции почвенного раствора – лен, подсолнечник, морковь, томаты, щавель, петрушка, редька, тыква, кабачки, редис, крыжовник, малина и др. Практически все сельскохозяйственные культуры хорошо отзываются на внесение серы на фоне систематического и достаточного внесения азотно-фосфорно-калийных удобрений.

Серосодержащие удобрения рекомендуется вносить, прежде всего, на почвах с низкой и средней обеспеченностью серой – менее 6,0 и 6,1–12,0 мг/кг почвы соответственно. В технологиях возделывания сельскохозяйственных культур эти удобрения могут применяться как в основное и припосевное внесение, так и в качестве корневых и некорневых подкормок в течение вегетационного периода растений. Однако по литературным данным известно, что только на 2–5 % площадей проводятся некорневые подкормки сельскохозяйственных культур соединениями серы и этот прием можно рассматривать лишь как дополнительный инструмент в обеспечении их биологической потребности и как меру устранения уже проявившихся симптомов дефицита этого элемента.

В последние годы в республике, как и в других странах Европы, наблюдается уменьшение содержания серы в пахотных землях и в почвах сенокосов и пастбищ. Увеличение площадей с низким и средним содержанием серы связано с уменьшением внесения органических и минеральных удобрений, содержащих серу. Дефицит серы в питании сельскохозяйственных культур ощущается при возделывании их на дерново-подзолистых почвах с низким содержанием серы и органического вещества, а также на переувлажненных почвах.

По данным VII и VIII туров агрохимического обследования почв, в пахотных средневзвешенное содержание серы по республике составляло 10,6 и 7,48 мг/кг почвы (82,6 % почв низкой и средней степени обеспеченности серой), на почвах улучшенных сенокосов и пастбищ – 12,2 и 9,19 мг/кг почвы (67,8 %) [1].

Результаты крупномасштабного обследования почв Беларуси последних туров свидетельствуют, что средневзвешенное содержание серы в пахотных почвах (среднее по всем областям) к 2013–2016 гг. снизилось до 6,19 мг/кг почвы (90,0 % почв низкой и средней степени обеспеченности серой, для сравнения в 2009–2012 гг. – 88,7 %). Следует также отметить, что в 2016 г. средневзвешенное содержание серы различалось по областям: в Брестской области оно составило 6,58 мг/кг почвы, в Гомельской – 6,81, в Гродненской – 5,53, в Минской – 7,33 и в Могилевской – 4,51 мг/кг почвы, соответственно на почвах сенокосов и пастбищ в Брестской области – 7,31 мг/кг почвы, в Гомельской – 8,17, в Гродненской – 6,68, Минской – 7,67 и Могилевской – 4,93 мг/кг почвы.

Известно применение жидких азотно-серосодержащих удобрений под рапс и другие сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых и торфяных почвах, которые свидетельствуют о положительном влиянии на урожайность и качество продукции [2].

Цель исследований – оценка влияния разных форм серосодержащих удобрений (гранулированных и жидких) на урожайность и качество продукции рапса озимого и ярового, которые очень хорошо отзываются на внесение серосодержащих удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности разных форм минеральных серо-содержащих удобрений при возделывании рапса озимого и ярового проводили в период 2018–2019 гг. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области. Общий размер делянки – 24 м², повторность вариантов – 4-кратная, предшественники озимого и ярового рапса в 2018 г. – ячмень, в 2019 г. – горохо-овсяная смесь.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв (0–25 см) перед закладкой опытов с сельскохозяйственными культурами была следующей:

- с рапсом озимым в 2018 г.: рН – 6,40, P₂O₅ – 199 мг/кг почвы; K₂O – 130 мг/кг; содержание гумуса – 2,43 %; в 2019 г.: рН – 5,51; P₂O₅ – 186 мг/кг почвы; K₂O – 172 мг/кг; Ca – 685; Mg – 142 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,25 %;
- с рапсом яровым в 2018 г.: рН – 5,14, P₂O₅ – 205 мг/кг почвы; K₂O – 190 мг/кг; Ca – 670; Mg – 50 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,31 %; в 2019 г.: рН – 5,45; P₂O₅ – 232 мг/кг почвы; K₂O – 184 мг/кг; Ca – 627; Mg – 134; мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,21 %.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву при возделывании рапса ярового применяли: в базовом варианте – стандартные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый), КАС и карбамид жидкий, испытываемые удобрения – сульфат аммония гранулированный без добавок и с добавками гуматов, бора, бора и гуматов. Выпуск налажен или планируется на ООО «Белагроферт»; жидкие азотно-серосодержащие удобрения без добавок АСУ₁ (N–S)=20–4 и с модифицирующими добавками микроэлементов (Свежка) с содержанием N – 20 % и S – 4 % – ОАО «СветлогорскХимволокно». В схемы опытов также включены варианты с внесением элементарной серы, совместно с жидкими азотными удобрениями – КАС и карбамидом жидким, с дозами серы, как в сульфате аммония и АСУ₁ (N–S) =20–4.

При возделывании рапса озимого вносили серосодержащие удобрения в первую ранневесеннюю подкормку.

Закладку и проведение опытов проводили в соответствии с методическими указаниями. Уход за посевами сельскохозяйственных культур в опытах проводили согласно технологическим регламентам их возделывания. Обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней осуществлялась препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [3]. Исследования проводили согласно существующим методикам по закладке полевых опытов [4, 5].

Почвенные образцы отбирали в полевых опытах из пахотного горизонта почвы, в которых определяли изучаемые показатели:

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (KCl) – потенциметрическим методом (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);

- кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- содержание серы – по ГОСТ 26490-85;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85;

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили, согласно существующих ГОСТ и ОСТ:

- отбор проб – ГОСТ 18691-83;
- определение азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26570-95; магний – ГОСТ 30502-97 на атомно-адсорбционном спектрофотометре, сера – фотоколориметрическим методом;
- сухое вещество – весовым методом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова: $ГТК = (\Sigma X \cdot 10) / \Sigma T$, где: ΣX – сумма атмосферных осадков за период; ΣT – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [5].

Температура воздуха и количество атмосферных осадков приведены по данным наблюдений Гидрометцентра и в экспериментальной базе им. Котовского Узденского района, а также лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермический коэффициент (ГТК) в период с апреля по сентябрь 2018 г. в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района, Минской области составил 1,18, что позволяет считать вегетационный период 2018 г. слабозасушливым. Выпадение атмосферных осадков в течение вегетационного периода было неравномерным. В апреле выпало 41,8 мм атмосферных осадков, или 87,1 % от среднемноголетних значений, в мае – 13,6 мм (22,3 %), июне – 62,2 мм (76,8 % месячной нормы атмосферных осадков), июль был очень влажным – 148,1 мм (164,6 % от нормы), в августе – 48,7 мм (58,7 %). Засушливые периоды вегетации в незначительной степени отразились на формировании урожая озимого и ярового рапса.

В 2019 г. гидротермический коэффициент с мая по сентябрь составил 1,40, что позволяет считать вегетационный период возделывания рапса ярового оптимальным. Выпадение атмосферных осадков в течение вегетационного периода было неравномерным. В апреле атмосферные осадки практически не выпадали – 0,2 мм, в мае – 64,6 мм (105,9 %), июне – 62,3 мм (76,9 %), в июле – 89,0 мм (98,9 %), в августе – 98,8 мм (119,0 %), сентябре – 35,9 мм (60,8 % от среднемноголетней нормы).

Урожайность рапса озимого Миранда (гибрид F1), возделываемого на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, в условиях засушливого вегетационного периода в 2018 г. была невысокой: на фоне РК удобрений – 11,2 ц/га

семян, при внесении азотных удобрений – 18,8–26,6 ц/га (прибавка к фону – 7,6–15,4 ц/га). Азотные удобрения, не содержащие серу и вносимые в подкормку, были менее эффективны. Так, урожайность в вариантах с карбамидом гранулированным составляла 18,8 ц/га, с карбамидом жидким – 20,5, с КАС – 21,7 ц/га. Азотные удобрения, содержащие серу, приводили к дальнейшему увеличению урожайности – 23,7–26,6 ц/га, с прибавкой от серы 4,9–7,8 ц/га семян. В вариантах с сульфатом аммония мелкокристаллическим и гранулированным прибавка от серы (к базовому варианту) составляла 6,1–7,0 ц/га. Увеличение дозы сульфата аммония гранулированного не приводило к достоверному росту урожайности рапса озимого. Жидкие азотно-серосодержащие удобрения без добавок и с добавками микроэлементов были высокоэффективны – прибавка от серы составила 5,7 и 7,2 ц/га семян соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность рапса озимого (ц/га) при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2018–2019 гг.

Вариант	2018 г.	2019 г.	Средняя за 2 года	+/- к базовому
Контроль без удобрений	6,2	7,4	6,8	–
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	11,2	13,3	12,2	–
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый вариант	18,8	18,9	18,9	–
<i>Сульфат аммония на фоне РК</i>				
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На мелкокристаллический)	25,8	22,1	24,0	5,1
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный)	24,9	23,1	24,0	5,1
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный)	26,4	24,3	25,4	6,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с гуматами)	26,0	26,3	26,2	7,3
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с бором)	25,1	24,4	24,8	5,9
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с бором и гуматами)	26,6	27,1	26,9	8,0
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>				
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nm жидкий)	20,5	19,0	19,8	0,9
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (КАС)	21,7	23,0	22,4	3,5
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (КАС с S 4,0 %)	23,7	23,2	23,5	4,6
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (АСУ ₁)	24,5	21,2	22,9	4,0
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Свежка)	26,0	22,5	24,3	5,4
НСП ₀₅	1,80	1,84	1,82	

Nm – мочевина (карбамид), Na – сульфат аммония.

В 2019 г. урожайность рапса озимого Миранда (гибрид F1) была невысокой и составила на контрольном варианте без удобрений 7,4 ц/га, в фоновом варианте – 13,3 ц/га. Внесение разных форм азотных удобрений в подкормку на фоне

$N_{30}P_{70}K_{140}$ обеспечивало урожайность семян рапса озимого на уровне от 18,9 до 27,1 ц/га. Внесение в качестве подкормки азотных удобрений, содержащих серу, обеспечивало урожайность в пределах от 21,2 до 27,1 ц/га с прибавкой относительно базового варианта – 2,3–8,2 ц/га. Наиболее эффективными при этом были варианты с применением в качестве азотно-серосодержащих удобрений сульфата аммония гранулированного как в чистом виде (обе дозы), так и с добавками бора, гуматов, бора и гуматов.

В среднем за два года исследований урожайность семян рапса озимого составляла на контроле – 6,8 ц/га, в фоновом варианте – 12,3, с полной дозой удобрений – 18,9–26,9 ц/га. Внесение серосодержащих удобрений достоверно увеличивало урожайность семян рапса озимого по сравнению с базовым вариантом на 4,0–8,0 ц/га. При этом наиболее эффективными были варианты с использованием сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, сульфата аммония гранулированного с гуматами, сульфата аммония гранулированного с бором в дозе N_{100+60} , а также сульфата аммония гранулированного в дозе N_{120+80} на фоне фосфорных и калийных удобрений, обеспечившие прибавку урожайности на уровне 8,0 ц/га, 7,3, 5,9 и 6,5 ц/га соответственно, (табл. 1).

Урожайность семян рапса ярового в 2018 г. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве была достаточно высокой, на контроле она составила 9,4 ц/га, при внесении РК удобрений – 12,5, полной дозы минеральных удобрений – 18,9–28,2 ц/га. Прибавка от элементарной серы, вносимой с жидкими азотными удобрениями в дозе (4 и 24 % от массы удобрения) на фоне РК составляла 3,7–4,9 ц/га, сульфата аммония мелкокристаллического – 4,1, сульфата аммония гранулированного без добавок (обе дозы) и с добавками гуматов, бора, бора и гуматов – 5,6–9,3, жидких азотно-серосодержащих – 4,4–6,4 ц/га, относительно базового варианта (табл. 2).

Таблица 2

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность рапса ярового (ц/га) при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2018–2019 гг.

Вариант	2018 г.	2019 г.	Средняя за 2 года	+/- к базовому
Контроль без удобрений	9,4	10,2	9,8	–
$N_{16}P_{60}K_{150}$ (фон)	12,5	16,0	14,3	–
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый вариант	18,9	22,9	20,9	–
<i>Сульфат аммония на фоне РК</i>				
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (На мелкокристаллический)	23,0	24,5	23,8	2,9
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (На гранулированный)	25,7	25,4	25,6	4,7
$N_{100+60}P_{84}K_{180}$ (На гранулированный)	24,5	28,9	26,7	5,8
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (На гранулированный с гуматами)	26,2	26,9	26,6	5,7
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (На гранулированный с бором)	26,4	26,4	26,4	5,5
$N_{100+40}P_{60}K_{150}$ (На гранулированный с бором и гуматами)	28,2	27,8	28,0	7,1

Вариант	2018 г.	2019 г.	Средняя за 2 года	+/- к базовому
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>				
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий)	20,6	23,1	21,9	1,0
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий с S 4 %)	22,6	26,0	24,3	3,4
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий с S 24,0 %)	23,3	28,7	26,0	5,1
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС)	20,8	21,4	21,1	0,2
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС с S 4,0 %)	22,7	25,2	24,0	3,1
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС с S 24,0 %)	23,8	24,2	24,0	3,1
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (АСУ ₁)	23,3	23,5	23,4	2,5
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Свежка)	25,3	26,4	25,9	5,0
НСР ₀₅	1,60	2,04	1,83	

Нм – мочевины (карбамид), На – сульфат аммония.

Урожайность ярового рапса (Миракел F 1) в 2019 г. составляла 10,2 ц/га – контроль, 16,0 – фон, 21,4–28,9 ц/га – варианты с NPK. Внесение удобрений, содержащих серу, положительно влияло на урожайность семян рапса ярового. Так, применение элементарной серы (с жидкими азотными удобрениями) обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение урожайности семян рапса относительно базового варианта на 1,3–5,8 ц/га. Внесение сульфата аммония гранулированного без добавок (обе дозы) и с добавками гуматов, бора, бора и гуматов повышало урожайность семян на 2,5–6,0 ц/га, жидких азотно-серосодержащих удобрений с микроэлементами – на 3,5 ц/га. Применение сульфата аммония мелкокристаллического и азотно-серосодержащего удобрения без добавок было приблизительно на уровне смеси стандартных удобрений с карбамидом гранулированным.

В среднем за два года исследований урожайность семян рапса ярового была на достаточно высоком уровне: на контроле – 9,8 ц/га, в фоновом варианте – 14,3, с полной дозой удобрений – 20,9–28,0 ц/га. Применяемые удобрения обеспечивали увеличение урожайности относительно контроля – 4,5–18,2 ц/га семян рапса. Внесение серосодержащих удобрений достоверно увеличивало урожайность семян рапса ярового по сравнению с базовым вариантом на 2,5–7,1 ц/га. Наиболее эффективными были варианты с использованием сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, сульфата аммония гранулированного с гуматами, сульфата аммония гранулированного с бором в дозе N₁₀₀₊₄₀ на фоне P₆₀K₁₅₀, а также сульфата аммония гранулированного в дозе N₁₄₀₊₆₀ на фоне P₈₄K₁₈₀, обеспечившие прибавку урожайности на уровне 7,1 ц/га, 5,7, 5,5 и 6,8 ц/га соответственно.

Применение карбамида жидкого с элементарной серой (4 % и 24 %), а также КАС с элементарной серой (4 %) в среднем за два года обеспечило увеличение урожайности семян рапса ярового на 3,1–5,1 ц/га по сравнению со смесью стандартных удобрений, где в качестве азотного удобрения использовался карбамид стандартный.

Качество семян рапса озимого и ярового оценивалось по масличности, содержанию в масле глюкозинолатов и серы (табл. 3, 4), массе 1000 семян, а также химическому составу.

Серосодержащие удобрения обеспечивали положительное влияние на качество семян рапса озимого. Так, содержание масла в семенах в годы исследований было близким: в 2018 г. находилось в пределах 49,3–52,2 %, в 2019 г. – 47,0–49,5 %, а в среднем за два года – 48,1–50,7 %. Минимальные показатели масличности в среднем за два года получены в базовом варианте с подкормками карбамидом гранулированным – 48,1 %. Внесение разных марок сульфата аммония повысило масличность на 1,2–2,6 % по сравнению с базовым вариантом. Жидкие азотно-серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное повышение масличности семян рапса озимого (на 0,9–1,9 %) (табл. 3).

Таблица 3

Показатели качества семян рапса озимого при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2018–2019 гг.

Вариант	Масличность, %			Глюкозинолаты, мг/кг	Сера в масле, мг/кг
	2018 г.	2019 г.	среднее		
Контроль без удобрений	47,6	47,0	48,4	1,47	10,23
N _{18,7} P ₇₀ K ₁₄₀ (фон)	49,7	48,0	48,2	1,55	6,76
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (смесь стандартных удобрений с Nm гранулированным) – базовый вариант	48,7	47,5	48,1	1,63	12,90
<i>Сульфат аммония на фоне РК</i>					
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На мелкокристаллический)	52,2	49,1	50,7	2,32	18,58
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный)	50,1	49,0	49,6	2,24	15,75
N ₃₀₊₁₂₀₊₈₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный)	49,3	49,2	49,3	2,26	14,76
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с гуматами)	50,4	49,2	49,8	2,05	12,67
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с бором)	50,7	49,2	50,0	1,83	9,16
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (На гранулированный с бором и гуматами)	50,8	49,5	50,2	2,20	11,31
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>					
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Nm жидкий)	49,8	48,3	49,3	1,69	6,34
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (КАС)	49,8	48,0	49,0	2,22	11,21
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (КАС с S 4,0 %)	50,3	49,0	49,8	1,94	9,83
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (АСУ ₁)	51,1	48,9	50,0	2,10	12,73
N ₃₀₊₁₀₀₊₆₀ P ₇₀ K ₁₄₀ (Свежка)	50,0	49,5	49,8	2,14	11,31
НСР ₀₅	1,24	1,16	1,20	–	–

Nm – мочевины (карбамид), Na – сульфат аммония.

Содержание глюкозинолатов в семенах озимого рапса в среднем по опыту составило 1,93 % и варьировало по вариантам от 1,47 до 2,32 %. При этом наблюдалась следующая закономерность: содержание глюкозинолатов в вариантах без удобрений и при внесении минеральных удобрений, не содержащих серу, было

несколько меньшим (в среднем 1,55 %), по сравнению с вариантами с серосодержащими – 2,09 %. Следует отметить, что содержание глюкозинолатов в семенах рапса озимого во всех вариантах опыта было ниже нормативного значения (СТБ 1398-2003) – не более 3 %.

Для оценки и предотвращения негативного воздействия продуктов питания на здоровье человека в Республике Беларусь регламентируется содержание серы в масле (СТБ-140086-2004 «Масло рапсовое»): если содержание серы в масле выше 50 мг/кг, то это масло должно использоваться для технических целей; меньше 30 мг/кг – на продовольственные цели; меньше 15 мг/кг – на рафинированное масло очищенное; меньше 2 мг/кг – для детского питания. Содержание серы в масле из семян рапса озимого в большинстве вариантов находилось в пределах 6,34–14,76 мг/кг и такое масло рекомендуется для использования на продовольственные цели и на рафинированное масло очищенное. Исключение составляли варианты с внесением сульфата аммония мелкокристаллического и гранулированного в дозе $N_{30+100+60}P_{70}K_{140}$, где содержание серы составляло 15,75–18,58 мг/кг, оно рекомендуется только на продовольственные цели (табл. 3).

Масса 1000 семян озимого рапса в опыте находилась в пределах от 4,80 г на контроле без удобрений до 4,88–5,27 г при внесении полного минерального удобрения (NPK). Применяемые удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное повышение массы 1000 семян рапса озимого на 0,08–0,47 г по сравнению с контролем, а по сравнению с базовым вариантом – на 0,19–0,39 г.

Удобрения оказали определенное воздействие на химический состав семян рапса озимого. Содержание азота в зависимости от вариантов опыта находилось в пределах 3,05–3,82 %, содержание фосфора – 1,46–1,77 %, калия – 0,74–0,84 %, кальция – 0,20–0,24, магния – 0,50–0,61 %. Внесение серосодержащих удобрений оказало некоторое влияние и на поступление серы в семена рапса. В контрольном варианте, а также при внесении удобрений без серы ее содержание было несколько ниже (0,48–0,67 %), чем с удобрениями, содержащими серу (0,70–0,86 %).

Отношение азота к сере в продукции озимого рапса находилось в пределах 4,7–7,5 и свидетельствовало об удовлетворительном питании серой, так как только при очень высоком соотношении азота и серы (более 18,5:1) наблюдается ощутимый недостаток серы для растений.

Содержание масла в семенах рапса ярового находилось в пределах 44,0–46,8 % (по средним показателям за 2018–2019 гг.). В варианте без удобрений (контроль) его содержание составило 44,0 %, при внесении фосфорных и калийных удобрений ($N_{16}P_{60}K_{150}$) – 44,3 %. В базовом варианте масличность составила 44,1 %. Внесение серосодержащих удобрений (разных форм сульфата аммония) повышало содержание масла в семенах на 1,9–2,7 %, массу 1000 семян – на 0,22–0,96 г, жидких азотных и азотно-серосодержащих удобрений – на 0,5–2,1 % и 0,24–0,68 г соответственно. В целом серосодержащие удобрения повышали массу 1000 семян рапса ярового до 4,66–5,40 г при показателе в базовом варианте – 4,44 % (табл. 4).

Содержание глюкозинолатов в контрольном варианте составило 0,65 %, в вариантах с удобрениями – 0,69–1,51 % и ни в одном варианте не превышало нормативного значения показателя (не более 3 %, согласно СТБ 1398-2003).

В масле рапса ярового содержание серы изменялось, в зависимости от вариантов опыта – 5,42–28,21 мг/кг, и, согласно СТБ 140086-2004 «Масло рапсовое», соответствовало применению на продовольственные цели (менее 30 мг/кг) или в качестве масла очищенного рафинированного (менее 15 мг/кг).

Таблица 4

Показатели качества семян рапса ярового при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, 2018–2019 гг.

Вариант	Масличность, %			Глюкозинолаты, мг/кг	Серя в масле, мг/кг
	2018 г.	2019 г.	среднее		
Контроль без удобрений	44,2	43,7	44,0	0,65	11,89
N ₁₆ P ₆₀ K ₁₅₀ (фон)	44,9	43,6	44,3	0,69	12,75
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (смесь стандартных удобрений с карбамидом гранулированным) – базовый вариант	44,8	43,3	44,1	1,09	8,91
<i>Сульфат аммония на фоне РК</i>					
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (На мелкокристаллический)	46,8	46,7	46,8	1,24	10,87
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (На гранулированный)	46,4	46,5	46,5	1,28	14,50
N ₁₀₀₊₆₀ P ₈₄ K ₁₈₀ (На гранулированный)	45,7	46,5	46,1	1,12	26,66
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (На гранулированный с гуматами)	46,5	46,8	46,7	1,17	20,36
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (На гранулированный с бором)	46,1	45,8	46,0	1,51	28,21
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (На гранулированный с бором и гуматами)	46,8	46,4	46,6	1,44	16,03
<i>Жидкие серосодержащие удобрения</i>					
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий)	45,0	44,1	44,6	1,09	5,42
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий с S 4,0 %)	45,6	43,9	44,8	1,25	18,36
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Нм жидкий с S 24,0 %)	45,5	45,0	45,3	1,18	18,11
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС)	45,4	43,8	44,6	0,94	14,53
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС с S 4,0 %)	45,6	45,6	45,6	1,27	13,97
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (КАС с S 24,0 %)	45,6	46,0	45,8	1,32	12,95
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (АСУ ₁)	46,3	44,2	45,3	1,15	12,23
N ₁₀₀₊₄₀ P ₆₀ K ₁₅₀ (Свежка)	46,1	45,2	45,7	1,04	11,92
НСП ₀₅	1,27	1,09	1,18	–	–

Нм – мочевина (карбамид), На – сульфат аммония.

Содержание азота в семенах рапса ярового в варианте без удобрений (контроль) было наименьшим – 3,43 %. При внесении удобрений твердых и жидких его содержание находилось в пределах от 3,54 до 4,02 %. В вариантах с применением жидких азотно-серосодержащих удобрений увеличение содержания азота было достоверным или близким к достоверному по отношению к базовому варианту. Содержание фосфора в зависимости от вариантов опыта составляло 1,88–2,19 %, калия – 0,89–1,14, кальция – 0,16–0,20, магния – 0,68–0,75 %.

Твердые и жидкие формы серосодержащих удобрений оказали влияние на поступление серы в семена ярового рапса. В вариантах, где сера не вносилась и при

внесении удобрений без серы ее содержание находилось на уровне 0,72–0,74 %. В вариантах с внесением элементарной серы совместно с жидкими азотными удобрениями, а также разных форм сульфата аммония наблюдалась тенденция повышения содержания серы (до 0,75–0,88 %). Отношение азота к сере в продукции ярового рапса было в пределах от 4,7 до 6,1.

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные на рыхлосупесчаной почве при возделывании рапса озимого и ярового позволяют сделать следующие выводы:

1. Внесение серосодержащих удобрений под рапс озимый (N_{100} на фоне РК) достоверно увеличивало урожайность семян на 4,0–8,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом. Наиболее эффективными были сульфат аммония гранулированный с бором и гуматами (8,0 ц/га), сульфат аммония гранулированный с гуматами (7,3 ц/га), сульфат аммония гранулированный с бором (5,9 ц/га).

2. При внесении серосодержащих удобрений под рапс яровой увеличивалась урожайность семян на 2,5–7,1 ц/га по сравнению с базовым вариантом. Наиболее эффективными были варианты с внесением сульфата аммония гранулированного с бором и гуматами, сульфата аммония гранулированного с гуматами, сульфата аммония гранулированного с бором в дозе N_{100} на фоне $P_{60}K_{150}$, а также сульфата аммония гранулированного в дозе N_{140} на фоне $P_{84}K_{180}$, обеспечившие прибавку семян на уровне 7,1 ц/га, 5,7, 5,5 и 6,8 ц/га соответственно.

3. Серосодержащие удобрения оказывали положительное влияние на качество семян рапса озимого и ярового за счет увеличения содержания масла на 1,4–2,0 % и 1,7–3,5 %, массы 1000 семян – на 0,24–0,38 г и 0,22–0,96 г, при содержании глюкозинолатов в семенах ниже предельно допустимого значения (не более 3 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдевич, И. М. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь (VIII) тур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Хата. – 2002. – 507 с.

2. Применение новых форм жидких азотно-серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2012. – 31 с.

3. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь – Минск: ООО «Промкомплекс», 2017. – 687 с.

4. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с.

5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

**EFFECT OF SULFUR-CONTAINING FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY
AND QUALITY OF WINTER AND SPRING RAPE SEEDS
ON SOD-PODSOLIC LOAMY SAND SOIL**

**G. V. Pirahouskaya, V. I. Soroko, S. S. Khmelevskij, O. I. Isaeva,
I. N. Nekrasova, E. N. Goloskok, E. N. Mironova**

Summary

The article presents the data on the influence of various forms of sulfur-containing mineral fertilizers on productivity and grain quality of winter and spring rape (seeds) growing on sod-podsolic loamy sand soil. Most effective forms of fertilizers were established.

Поступила 10.12.19

УДК 631. 812. 2:633:631.445.2

**АГРОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

М. В. Рак, С. А. Титова, Н. С. Иванова, Л. Н. Гук, Ю. А. Артюх
*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В комплексе факторов формирования урожая и качества растениеводческой продукции решающее значение имеет сбалансированное питание растений всеми необходимыми макро- и микроэлементами. При высоком уровне плодородия почв и применения макроудобрений под культуры, возделываемые по интенсивным технологиям, возрастает роль микроэлементов в создании оптимального баланса питательных веществ [1, 2]. Микроэлементы принимают самое активное участие в процессах роста, развития и плодоношения растений. Многие из них входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и других биологически активных соединений, осуществляющих функционирование растительного организма. Микроэлементы оказывают существенное влияние на повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды, на проницаемость клеточных мембран и поглощение растениями элементов питания [3]. При этом большое значение имеют микроэлементы для повышения эффективности азота, фосфора и калия и их поступления в растения. Применение меди и бора улучшает поступление в растения азота. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. У растений с дефицитом цинка отмечается повышенная концентрация неорганического фосфора [2, 4].

Необходимость применения микроудобрений обусловлена недостаточным содержанием подвижных форм микроэлементов в почвах и постоянным выносом их урожаями [1]. Особенно это актуально для высококультурных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. Так, площади пахотных почв республики с рН более 6,0 составляют 40,6 %, с повышенным и высоким содержанием гумуса – 32,8 %, фосфора – 57,3 %, калия – 49,2 % [5]. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов. Потому важной задачей агрохимической науки является определение роли микроэлементов в системе удобрения в зависимости от почвенно-агрохимических условий возделывания сельскохозяйственных культур [6, 7].

Цель исследований заключалась в определении влияния некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой высококультурной легкосуглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по определению эффективности некорневых подкормок озимой пшеницы микроэлементами проводились в полевых (2017–2018 гг.) и производственных (2019 г.) опытах в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой высококультурной легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы:

рН в КCl – 6,22–6,25, гумус – 2,47 %, P_2O_5 – 614–646 мг/кг почвы, K_2O – 391–435, В – 0,64–1,0, Cu – 2,36–3,15, Zn – 3,37–4,67, $Mn_{обм}$ – 1,61 мг/кг почвы (полевой опыт);

рН в КCl – 6,328, гумус – 2,60 %, P_2O_5 – 484 мг/кг почвы, K_2O – 408, В – 0,61, Cu – 3,06, Zn – 2,33, $Mn_{обм}$ – 3,9 мг/кг почвы (производственный опыт).

В полевые опыты с озимой пшеницей Сукцес включены варианты с медными, марганцевыми и цинковыми удобрениями на двух фонах внесения минеральных удобрений:

- фон 1 – дробное внесение азотных удобрений в подкормку в суммарной дозе N_{160} (N_{70} – весной, в начале активной вегетации, N_{35} – в стадии 1-го узла, N_{55} – в стадии 5-го узла).
- фон 2 – внесение азотных удобрений в суммарной дозе N_{160} (N_{70} – весной, в начале активной вегетации, N_{35} – в стадии 1-го узла, N_{55} – в стадии 5-го узла), фосфорных – P_{30} и калийных – K_{60} (35 % выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью 80 ц/га).

В производственном опыте с озимой пшеницей Фигура включены варианты с медью, марганцем и цинком на двух фонах внесения минеральных удобрений N_{160} и $N_{160}P_{30}K_{60}$. Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрениями МикроСтим проводили в стадии 1-го узла и 5-го узла. Площадь производственного опыта – 100 га.

В опытах микроэлементы медь, марганец и цинк внесены в некорневые подкормки озимой пшеницы в форме жидких микроудобрений МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Медь, Марганец и МикроСтим-

Цинк, Медь в дозе по 0,05 кг/га д. в. Микроудобрения МикроСтим представляют собой водорастворимые концентраты, изготовленные на основе хелатов меди, цинка и марганца с добавлением регуляторов роста гидрогумата [8].

Некорневые подкормки озимой пшеницы в период вегетации микроудобрениями МикроСтим проведены в различные сроки. В вариантах 3–6 и 12–15: 1-я – весной, в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС (N_{70}), 2-я – в стадии 1-го узла (ДК 31). В вариантах 7–10 и 16–19: 1-я – в стадии 1-го узла (ДК 31), 2-я – в фазе молочной спелости (ДК 77). Расход рабочего раствора – 200 л/га. Общая площадь делянок – 25 м², повторность – 3-кратная. Закладка и проведение полевых опытов – в соответствии с общепринятой методикой. Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ компьютера [9]. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Экономическая эффективность применения микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [10]. Схемы полевых и производственных опытов представлены далее в таблицах.

Погодные условия за годы проведения исследований различались. В 2017 г. вегетационный период характеризовался неравномерностью распределения атмосферных осадков при невысоких температурных показателях воздуха. ГТК за этот период составил 1,92. В 2018 г. погодные условия вегетационного периода были слабозасушливые (ГТК – 1,1), что положительно сказалось на развитии озимой пшеницы. Погодные условия вегетационного периода 2019 г. были влажными (ГТК – 1,6). Однако в апреле и июле выпало меньшее количество атмосферных осадков при не высоких температурах воздуха (ГТК – 0,3 и 0,9), что характеризует эти месяцы как сухой и засушливый периоды. Остальные месяцы по условному показателю увлажнения характеризуются как влажные. В целом в годы исследований погодные условия для формирования урожайности озимой пшеницы были вполне благоприятными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что за счет плодородия дерново-подзолистой высококультурной легкосуглинистой почвы урожайность зерна озимой пшеницы составила 40,9 ц/га. Внесение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы в три срока в суммарной дозе N_{160} (фон 1) повышало урожайность зерна до 67,9 ц/га (табл. 1). Применение минеральных удобрений под озимую пшеницу в дозе $N_{160}P_{30}K_{60}$ (фон 2) обеспечило урожайность зерна в 67,7 ц/га.

Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрениями МикроСтим способствовали повышению урожайности зерна на 3,0–4,5 ц/га (фон 1) и на 3,1–4,6 ц/га (фон 2). Лучший эффект обеспечивался при внесении в некорневые подкормки медного и марганцевого микроудобрения. Так, двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы (в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС и в стадии первого узла) жидкими микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец повышала урожайность зерна на 4,5 и 4,4 ц/га соответственно. Применение этих микроудобрений в некорневую подкормку на фоне внесения минеральных удобрений $N_{160}P_{30}K_{60}$ обеспечивало прибавки

урожая 4,1 и 4,6 ц/га. При внесении микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку озимой пшеницы в стадию первого узла и фазу молочной спелости на двух фонах минерального питания прибавки урожайности зерна были несколько ниже и составили 3,0–3,9 ц/га. Следует отметить, что двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС и в стадию первого узла на двух фонах минерального питания микроудобрением МикроСтим-Медь,Марганец также обеспечила прибавку зерна 3,9 и 4,5 ц/га, а проведенная в стадию первого узла и фазе молочной спелости – 3,7 и 3,6 ц/га. Прибавки от некорневой подкормки озимой пшеницы удобрением МикроСтим-Цинк на двух фонах минерального питания были ниже и составили в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС и в стадию первого узла 3,2–3,3 ц/га, в стадию первого узла и фазу молочной спелости – 3,0–3,1 ц/га.

Таблица 1

Влияние некорневой подкормки озимой пшеницы микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество зерна (полевой опыт), среднее за 2017–2018 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Клейковина, %
1. Вариант без удобрений	40,9	–	10,6	3,7	23,1
2. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	67,4	–	12,1	6,9	25,9
3. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л*	71,9	4,5	12,5	7,7	27,2
4. Фон 1 + МикроСтим-Марганец	71,8	4,4	13,1	7,9	27,8
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	70,6	3,2	12,4	7,4	26,6
6. Фон 1 + МикроСтим-Медь,Марганец	71,3	3,9	13,3	8,1	28,9
7. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л**	71,1	3,7	13,1	7,9	28,5
8. Фон 1 + МикроСтим-Марганец	70,8	3,4	13,4	8,1	28,9
9. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	70,4	3,0	12,1	7,7	25,7
10. Фон 1 + МикроСтим-Медь,Марганец	71,1	3,7	12,5	7,5	26,5
11. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	67,7	–	11,5	6,6	25,5
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л*	71,8	4,1	12,0	7,4	25,9
13. Фон 2 + МикроСтим-Марганец	72,0	4,6	12,2	7,4	26,3
14. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	71,0	3,3	12,2	7,4	26,1
15. Фон 2 + МикроСтим-Медь,Марганец	72,2	4,5	12,4	7,6	26,6
16. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л**	71,4	3,7	11,7	7,2	25,0
17. Фон 2 + МикроСтим-Марганец	71,6	3,9	12,3	7,5	26,4
18. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	70,8	3,1	12,2	7,3	26,2
19. Фон 2 + МикроСтим-Медь,Марганец	71,3	3,6	12,4	7,6	26,7
НСР ₀₅	3,02		–	–	–

Некорневые подкормки: * весной, в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС (N₇₀) и в стадии 1-го узла (ДК 31); ** в стадии первого узла (ДК 31) и фазе молочной спелости (ДК 77).

При возделывании озимой пшеницы, наряду с показателями урожайности, немаловажное значение имеет качество зерна. Результаты двухлетних исследований показывают, что применение в полевых опытах жидких хелатных мик-

роудобрений МикроСтим в некорневые подкормки оказывает положительное влияние на показатели качества зерна озимой пшеницы (табл. 1). Содержание сырого белка и клейковины изменялось в зависимости от фона минерального питания, микроудобрений МикроСтим и сроков их внесения в некорневые подкормки. Анализ данных показывает, что наибольшее содержание сырого белка и клейковины отмечается на фоне азотной подкормки в течение вегетации (фон 1). Так, в среднем за два года исследований по вариантам опыта на фоне 1 содержание сырого белка в зерне составляло 12,1–13,4 % и клейковины – 26,0–28,9 %, на фоне 2 – 11,7–13,0 % и 25,7–27,9 % соответственно. Более высокие эти показатели были в 2018 г. (содержание сырого белка составляло 12,3–13,9 %, клейковины – 26,0–29,6 %). При этом следует отметить, что наиболее существенное повышение содержания сырого белка и клейковины в зерне было отмечено при внесении в некорневые подкормки микроудобрений, содержащих медь, марганец и цинк. В среднем за два года исследований лучшие результаты получены на фоне внесения азотных удобрений (фон 1), где в некорневую подкормку в стадии первого узла и фазе молочной спелости применяли МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец. В сравнении с фоновым вариантом содержание сырого белка было выше на 1,0 и 1,3 %, выход сырого белка – на 1,0 и 1,2 ц/га, клейковины – на 2,6 и 3,0 % соответственно. Положительно себя показало также микроудобрение МикроСтим-Цинк, где по годам при внесении в стадию первого узла и фазе молочной спелости отмечено более высокое содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы: в 2017 г. – 13,7 % (фон 1), в 2018 г. – 13,1 % (фон 2).

Экспериментальные двухлетние данные по содержанию меди, цинка и марганца в растениях по фазам роста и развития озимой пшеницы показывают, что их количество изменялось в зависимости от фона минерального питания, сроков некорневых подкормок и марок микроудобрений МикроСтим. При этом отмечается более высокое содержание микроэлементов в зерне, чем в соломе (табл. 2).

Действие некорневых подкормок озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Медь на содержание меди по фазам роста и развития было различным. Так, наибольшее содержание меди в растениях было в фазе кущения и находилось в диапазоне 4,0–4,9 мг/кг сухой массы на двух фонах внесения минеральных удобрений. Далее, в фазе первого узла и флагового листа содержание меди в растениях озимой пшеницы сохраняется на одном уровне и к фазе молочной спелости происходит снижение его накопления. Отмечается более высокое содержание меди в зерне, чем в соломе. Двукратная некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Медь Л (в фазе начала активной вегетации и в стадии первого узла) на фоне внесения азотных удобрений позволила повысить содержание меди в зерне с 2,1 до 2,3 мг/кг, а на фоне внесения $N_{160}P_{30}K_{60}$ – с 2,1 до 2,4 мг/кг сухой массы. Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрением в стадии первого узла и фазе молочной спелости повышали содержание меди в зерне с 2,1 до 2,4 мг/кг (фон 1) и с 1,8 до 2,9 мг/кг сухой массы (фон 2).

Анализ накопления марганца озимой пшеницей по фазам роста и развития показал, что в фазе кущения содержание этого элемента было высоким и колебалось на фоне 1 от 52,1 до 65,3 мг/кг и на фоне 2 – от 55,1 до 65,9 мг/кг сухой массы. По мере роста и развития озимой пшеницы содержание марганца в растениях снижалось к фазе молочной спелости и составляло 19,5–20,5 мг/кг (фон 1) и 17,3–22,5 мг/кг сухой массы (фон 2). Применение в некорневую под-

кормку микроудобрения МикроСтим-Марганец в разные сроки роста и развития озимой пшеницы способствовало незначительному накоплению марганца в зерне и соломе на двух фонах минерального питания.

Таблица 2

Влияние некорневых подкормок микроудобрениями МикроСтим на содержание микроэлементов в озимой пшенице, мг/кг сухой массы (среднее 2017–2018 гг.)

Вариант	Фазы роста и развития					полная спелость	
	кущение (ДК 25)	выход в трубку (ДК 31)	флаго-вый лист (ДК 37)	молочная спелость (ДК 77)	зерно	солома	
Медь							
1. Вариант без удобрений	3,2	1,7	1,9	1,5	1,3	1,1	
2. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	4,2	2,9	2,4	1,6	2,1	1,5	
3. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л*	4,9	3,7	2,8	1,9	2,3	1,7	
9. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л**	4,6	3,6	2,5	1,8	2,4	1,6	
15. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	4,0	2,9	2,1	1,5	1,8	1,9	
16. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л*	4,0	3,5	3,9	1,6	2,0	1,6	
22. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л**	4,0	3,5	2,9	2,3	2,9	1,8	
Марганец							
1. Вариант без удобрений	45,1	19,7	19,0	16,5	12,2	10,5	
2. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	52,1	31,3	23,4	20,4	18,6	13,4	
4. Фон 1 + МикроСтим-Марганец*	63,6	29,9	25,4	19,5	24,8	21,3	
10. Фон 1 + МикроСтим-Марганец**	65,3	31,0	27,6	20,5	20,8	16,7	
15. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	55,1	29,5	19,9	17,3	17,1	14,2	
17. Фон 2 + МикроСтим-Марганец*	57,2	34,2	24,4	22,5	20,1	23,3	
23. Фон 2 + МикроСтим-Марганец**	65,9	33,1	29,6	18,9	18,3	13,0	
Цинк							
1. Вариант без удобрений	18,9	7,5	8,8	6,1	10,2	3,8	
2. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	20,1	13,1	10,1	8,9	12,4	3,8	
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк*	26,8	16,3	12,6	9,9	16,3	5,4	
11. Фон 1 + МикроСтим-Цинк**	24,4	19,3	12,9	11,3	14,7	4,7	
15. N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	20,2	11,5	9,6	7,1	12,7	3,6	
18. Фон 2 + МикроСтим-Цинк*	20,1	16,5	10,3	7,9	14,8	4,4	
24. Фон 2 + МикроСтим-Цинк**	20,3	17,2	10,7	8,6	16,1	4,9	

Некорневые подкормки: * весной, в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС (N₇₀) и в стадии 1-го узла (ДК 31); ** в стадии первого узла (ДК 31) и фазе молочной спелости (ДК 77).

Так, содержание марганца в зерне от некорневой подкормки в фазе начало активной вегетации и в стадии первого узла микроудобрением МикроСтим-Марганец увеличивалось с 18,6 до 24,8 мг/кг (фон 1) и с 17,1 до 20,1 мг/кг сухой массы (фон 2). По содержанию марганца в соломе прослеживается такая же закономерность, как в зерне.

Накопление цинка в растениях по фазам роста и развития озимой пшеницы было также различным. Наибольшее его накопление отмечается в фазе кущения:

20,1–29,1 мг/кг на фоне только азотного питания и 20,1–25,2 мг/кг сухой массы на фоне внесения $N_{160}P_{30}K_{60}$. Далее от фазы первого узла к фазе молочной спелости идет снижение содержания цинка в растениях озимой пшеницы. В фазе полной спелости содержание цинка в зерне озимой пшеницы от двукратной некорневой подкормки в фазе начало активной вегетации и в стадию первого узла микроудобрением МикроСтим-Цинк увеличилось с 12,4 до 16,3 мг/кг (фон 1) и с 12,7 до 14,8 мг/кг сухой массы (фон 2). В вариантах с некорневой подкормкой озимой пшеницы в стадии первого узла и фазе молочной спелости накопление цинка в зерне увеличивалось с 12,4 до 14,7 мг/кг (фон 1) и с 12,7 до 16,1 мг/кг сухой массы (фон 2). Следует отметить, что содержание цинка в соломе в зависимости от некорневых подкормок микроудобрением МикроСтим-Цинк было в три раза ниже, чем в зерне. Так, содержание цинка в соломе в зависимости от сроков некорневой подкормки исследуемыми микроудобрениями на фоне N_{160} повышалось с 3,8 до 4,7–5,4 мг/кг, а на фоне $N_{160}P_{30}K_{60}$ с 3,6 мг/кг до 4,4–4,9 мг/кг сухой массы.

Анализ экспериментальных данных производственного опыта показал, что при возделывании озимой пшеницы применение медных, марганцевых и цинковых удобрений способствует повышению урожайности зерна. Величина прибавок урожайности зерна зависела от фона минерального питания и некорневых подкормок озимой пшеницы микроудобрениями МикроСтим. В варианте с внесением только азотных удобрений в подкормку в три срока в суммарной дозе N_{160} (фон 1) урожайность зерна составила 71,3 ц/га, а в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{30}K_{60}$ (фон 2) – 79,5 ц/га (табл. 3). Некорневые подкормки различными марками микроудобрений МикроСтим способствовали повышению урожайности зерна до 74,3–76,2 ц/га (фон 1) и до 83,4–84,5 ц/га (фон 2). Двукратная некорневая подкормка микроудобрениями МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец обеспечила прибавки зерна 4,6 и 3,8 ц/га (фон 1) и 4,4 и 4,6 ц/га (фон 2) соответственно. При внесении микроудобрения МикроСтим-Цинк прибавки были несколько ниже и составили 3,0 и 3,9 ц/га соответственно.

Таблица 3

Влияние некорневой подкормки микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (производственный опыт), 2019 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Сырой белок, %	Клейковина, %	Содержание, мг/кг сухой массы		
					медь	марганец	цинк
1. $N_{160(70+35+55)}$ – фон 1	71,3	–	9,8	19,3	1,2	14,7	9,5
2. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л	75,9	4,6	10,2	20,1	2,5	–	–
3. Фон 1 + МикроСтим-Марганец	75,1	3,8	10,9	21,5	–	18,0	–
4. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	74,3	3,0	11,1	21,8	–	–	13,2
5. $N_{160(70+35+55)}P_{30}K_{60}$ – фон 2	79,5	–	12,7	25,0	1,7	20,0	10,6
6. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л	83,9	4,4	13,6	26,8	3,0	–	–
7. Фон 2 + МикроСтим-Марганец	84,1	4,6	12,9	25,4	–	22,3	–
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	83,4	3,9	13,8	26,9	–	–	14,3
$НСП_{05}$	2,94	–	–	–	–	–	–

Некорневые подкормки: в стадии 1-го узла (ДК 31) и в стадии 5-го узла (ДК 35).

Анализ качества зерна озимой пшеницы показал, что двукратная некорневая подкормка микроудобрениями МикроСтим способствовала увеличению содержания сырого белка и клейковины в зерне. Более высокие эти показатели отмечаются при внесении в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Цинк. Так, некорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Цинк на фоне с внесением только азотных удобрений в дозе N_{160} повышала содержание белка в зерне с 9,8 до 11,1%, клейковины – с 19,3 до 21,8 %. На фоне с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{30}K_{60}$ некорневая подкормка озимой пшеницы вышеуказанным микроудобрением увеличивала содержание белка в зерне с 12,7 до 13,8 %, клейковины – с 25 до 26,9 %.

Внесение в некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрений МикроСтим способствовало повышению содержания меди, цинка и марганца в зерне. Двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Медь увеличивает содержание меди в зерне с 1,2 до 2,5 мг/кг (фон 1) и с 1,7 до 3,0 мг/кг сухой массы (фон 2). Некорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Марганец повышала содержание марганца в зерне с 14,7 до 18,0 мг/кг (фон 1) и с 20,0 до 22,3 мг/кг сухой массы (фон 2). В вариантах с применением в некорневую подкормку озимой пшеницы микроудобрения МикроСтим-Цинк накопление цинка в зерне увеличивалось с 9,5 до 13,2 мг/кг (фон 1) и 10,6 до 14,3 мг/кг сухой массы (фон 2).

Для оценки экономической эффективности некорневых подкормок в период вегетации озимой пшеницы жидкими микроудобрениями МикроСтим использованы полученные в опытах прибавки урожайности, нормативные данные затрат и цены на текущий год. Расчет экспериментальных данных полевых и производственных опытов показал, что эффективность применения микроудобрений МикроСтим в некорневые подкормки озимой пшеницы зависела от фона минерального питания и была выше при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{30}K_{60}$ (табл. 4). Так, в полевом опыте на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{30}K_{60}$ некорневые подкормки озимой пшеницы в начале активной вегетации и в стадии 1-го узла микроудобрением МикроСтим-Медь Л позволили получить условно чистый доход 40,1 USD/га и рентабельность 136 %, МикроСтим-Марганец – 39,0 USD/га и 100 %, МикроСтим-Цинк – 25,5 USD/га и 84 %, МикроСтим-Медь, Марганец – 38,5 USD/га и 102 % соответственно. На фоне внесения только азотных удобрений в суммарной дозе в течение вегетации озимой пшеницы N_{160} условно чистый доход и рентабельность от применения в некорневую подкормку микроудобрения МикроСтим-Медь Л составили 45,1 USD/га и 145 %, МикроСтим-Марганец – 36,4 USD/га и 95 %, МикроСтим-Цинк – 24,3 USD/га и 81 %, МикроСтим-Медь, Марганец – 30,9 USD/га и 88 % соответственно.

При возделывании озимой пшеницы в производственных условиях экономическая эффективность применения микроудобрений МикроСтим была также выше на фоне минеральных удобрений $N_{160}P_{30}K_{60}$. Так, двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы в стадии 1-го узла и в стадии 5-го узла микроудобрением МикроСтим-Медь Л обеспечивала на этом фоне чистый доход 50,6 USD/га и рентабельность 126 %, МикроСтим-Марганец – 37,8 USD/га и 94 %, МикроСтим-Цинк – 26,8 USD/га и 68 %, МикроСтим-Медь, Марганец – 39,3 USD/га и 86 % соответственно.

Таблица 4

Экономическая эффективность применения в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим при возделывании озимой пшеницы

Вариант	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, USD/га	Общие затраты, USD/га	Условно чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>Полевой опыт, 2017–2018 гг.</i>					
N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	–	–	–	–	–
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л*	4,5	76,3	31,2	45,1	145
Фон 1 + МикроСтим-Марганец	4,4	74,6	38,2	36,4	95
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	3,2	54,3	30,0	24,3	81
Фон 1 + МикроСтим-Медь,Марганец	3,9	66,1	35,2	30,9	88
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л**	3,7	62,7	27,8	34,9	126
Фон 1 + МикроСтим-Марганец	3,4	57,7	34,0	23,7	70
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	3,0	50,9	29,2	21,7	74
Фон 1 + МикроСтим-Медь,Марганец	3,7	62,7	34,4	28,3	82
N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	–	–	–	–	–
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л*	4,1	69,5	29,4	40,1	136
Фон 2 + МикроСтим-Марганец	4,6	78,0	39,0	39,0	100
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	3,3	55,9	30,4	25,5	84
Фон 2 + МикроСтим-Медь,Марганец	4,5	76,3	37,08	38,5	102
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л**	3,7	62,7	27,8	34,9	126
Фон 2 + МикроСтим-Марганец	3,9	66,1	36,1	30,0	83
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	3,1	52,6	29,6	23,0	78
Фон 2 + МикроСтим-Медь,Марганец	3,6	61,1	34,0	27,1	80
Некорневые подкормки: * весной, в начале активной вегетации совместно с азотным удобрением КАС (N ₇₀) и в стадии 1-го узла (ДК 31); ** в стадии первого узла (ДК 31) и фазе молочной спелости (ДК 77).					
<i>Производственный опыт, 2019 г.</i>					
N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ – фон 1	–	–	–	–	–
Фон 1 + МикроСтим-Медь Л	4,6	78,0	40,8	37,2	91
Фон 1 + МикроСтим-Марганец	3,8	64,5	36,9	27,6	75
Фон 1 + МикроСтим-Медь,Марганец	4,9	83,1	45,1	38,0	84
Фон 1 + МикроСтим-Цинк	3,0	50,9	35,6	15,3	43
N ₁₆₀₍₇₀₊₃₅₊₅₅₎ P ₃₀ K ₆₀ – фон 2	–	–	–	–	–
Фон 2 + МикроСтим-Медь Л	4,4	90,6	40,0	50,6	126
Фон 2 + МикроСтим-Марганец	4,6	78,0	40,2	37,8	94
Фон 2 + МикроСтим-Медь,Марганец	5,0	84,8	45,5	39,3	86
Фон 2 + МикроСтим-Цинк	3,9	66,2	39,4	26,8	68
Некорневые подкормки: в стадии 1-го узла (ДК 31) и в стадии 5-го узла (ДК 35).					

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы (весной в фазе начала активной вегетации и в стадии первого узла) жидкими микроудобрениями МикроСтим-Медь

и МикроСтим-Марганец в дозе 0,05 кг/га д. в. по фону дробного внесения азотных удобрений + $P_{30}K_{60}$ повышает урожайность зерна на 4,1–4,6 ц/га при условно чистом доходе 38,5–40,1 USD/га, рентабельности 102–136 % и уровне урожайности 72 ц/га. Отмечается тенденция увеличения содержания в зерне белка и клейковины.

2. Применение в некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрения МикроСтим-Медь увеличивает накопление меди в зерне в среднем с 2,0 до 2,4 мг/кг сухой массы (на 20 %). Некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Марганец повышает содержание марганца в зерне озимой пшеницы с 17,4 до 21,4 мг/кг сухой массы (на 23 %). Внесение в некорневую подкормку озимой пшеницы микроудобрения МикроСтим-Цинк увеличивает содержание цинка в зерне с 12,6 до 15,5 мг/кг сухой массы (на 23 %).

3. В производственном опыте на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве некорневая подкормка озимой пшеницы микроудобрением МикроСтим-Цинк в стадии 1-го узла и 5-го узла по фону дробного внесения только азотных удобрений в дозе N_{160} увеличивает урожайность с 71,3 до 74,3 ц/га, содержание белка в зерне – с 9,8 до 11,1 %, клейковины – с 19,3 до 21,8 %, цинка – с 9,5 до 13,2 мг/кг сухой массы. По фону дробного внесения азотных удобрений + $P_{30}K_{60}$ некорневая подкормка озимой пшеницы цинковым удобрением повышает урожайность с 79,5 до 83,4 ц/га, содержание белка в зерне – с 12,7 до 13,8 %, клейковины – с 25,0 до 26,9 %, цинка – с 10,6 до 14,3 мг/кг сухой массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
2. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.
3. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
6. Рак, М. В. Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: материалы VIII международной Биогеохимической Школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В. И. Вернадского. – М.: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 339–342.
7. Лапа, В. В. Использование жидких удобрений Адоб, Басфолиар и Солибор ДФ в посевах зерновых культур, рапса и льна / В. В. Лапа, М. В. Рак // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 37.
8. Микроудобрения с биостимулятором «МикроСтим»: ТУ ВУ 100079183. 006-2008. – Введ. 06.11.2008. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 15 с.

9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

AGRONOMIC AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MICRONUTRIENT FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF WINTER WHEAT ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT LOAMY SOIL

M. V. Rak, S. A. Titova, N. S. Ivanova, L. N. Hooke, Yu. A. Artyukh

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of using MicroStim liquid micronutrient fertilizers when cultivating winter wheat on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It has been established that foliar top dressing of winter wheat with micronutrient fertilizers during the growing season increases yield, improves grain quality and is a cost-effective method.

Поступила 10.12.19

УДК 631.8(633.16+633.14):631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКОБАКТЕРИАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО И РЖИ ОЗИМОЙ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

**Н. А. Михайловская¹, Д. В. Войтка², Н. Н. Цыбулько¹, Е. К. Юзефович²,
А. М. Устинова¹, Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹**

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь,*

*²Институт защиты растений,
аг. Прилуки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Почвы, подверженные эрозионной деградации, характеризуются неудовлетворительными агрофизическими, агрохимическими и биологическими свойствами вследствие потерь элементов минерального питания, органического вещества и ассоциированных с ним микробной биомассы и абиотических почвенных ферментов. Перечисленные факторы приводят к снижению продукционной способности эродированных почв и ухудшению качества растениеводческой продукции [1, 2, 3, 4].

Применение микробных инокулянтов, в особенности многокомпонентных, может играть существенную роль в повышении адаптации сельскохозяйственных растений при возделывании на эродированных почвах. Многокомпонентные микробные композиции, включающие микроорганизмы разной специализации, способны обеспечить полифункциональное положительное действие на растения: стимулировать рост, улучшать минеральное и водное питание, оказывать защитное действие против корневых инфекций.

Учитывая значимость азотного, калийного питания растений и их синергетический эффект, приоритетно включение в состав комплексных инокулянтов активных азотфиксирующих и калиймобилизующих ризобактерий, а также грибов-антагонистов для активного биологического контроля фитопатогенов.

Для экологизации растениеводства на эродированных почвах разработана трехкомпонентная микобактериальная композиция (МБК), которая включает азотфиксирующие (*Azospirillum brasilense*), калиймобилизующие (*Bacillus circulans*) ризобактерии и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum*. Микроорганизмы, составляющие микобактериальную композицию, имеют широкий спектр приспособительных свойств, что способствует их разностороннему положительному влиянию на инокулированные растения в разных почвенно-экологических условиях.

Ризобактерии *Azospirillum* spp. отличаются многообразием в отношении метаболизма азота, они могут осуществлять все реакции цикла азота, кроме нитрификации. Источниками азота для *Azospirillum* spp. служат атмосферный азот, аммоний, нитраты, нитриты, аминокислоты [5]. При дефиците доступного азота *A. brasilense* проявляют высокую активность азотфиксации [6]. Среди представителей *Azospirillum* spp. наиболее активными стимуляторами роста считаются *A. brasilense* [7, 8, 9].

Слизеобразующие ризобактерии *B. circulans* характеризуются способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия, в том числе из мусковита, гидромусковита и биотита, активно стимулируют рост корневой системы растений [10, 11]. Как *A. brasilense*, так и *B. circulans* проявляют высокую активность по растворению трехзамещенных ортофосфатов кальция, обеспечивая растения физиологическими количествами фосфора [11].

Штамм гриба *Trichoderma* sp. L-7 характеризуется высокой антагонистической активностью по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили и других корневых инфекций зерновых культур – *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum* и *B. sorokiniana*. В количественном отношении антагонистическая активность *Trichoderma* sp. L-7 варьирует в следующих пределах: *Fusarium culmorum* – 66,5–75,0 %, *Fusarium poae* – 73,7–100 %, *Fusarium oxysporum* – 64,5–100 %, *Fusarium solani* – 64,9–71,0 %, *Alternaria alternata* – 68,4–100 %, *Sclerotinia* sp. – 59,8–100 %, *Bipolaris sorokiniana* – 71,7–86,2 %.

Цель исследований – оценить потенциал трехкомпонентной микобактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* по влиянию на урожайность ячменя ярового и ржи озимой, качество продукции и поражаемость растений корневой гнилью (корневыми инфекциями) при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служила микобактериальная композиция и ее составные компоненты: ассоциативные азотфиксирующие бактерии *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Dцbereiner; калиймобилизующие бактерии *Bacillus circulans* Jordan и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum* L-7. Моноинокулянты и МБК включали активные штаммы ризобактерий *Azospirillum brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81 и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 из коллекционных фондов Института почвоведения и агрохимии и Института защиты растений.

Исследования включали постановку лабораторных *in vitro* экспериментов и проведение стационарного полевого опыта «Стоковые площадки».

Оценка антагонистической активности грибного и бактериальных компонентов микобактериальной композиции. Тестирование антагонистического действия штамма гриба *Trichoderma* sp. L-7 проводили методом встречных культур в четырехкратной повторности [12]. В чашки Петри со средой сусло-агар уколком с одной стороны чашки наносили культуру исследуемого фитопатогена. После инкубации в термостате при $t = 25^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов с противоположной стороны чашки Петри уколком наносили культуру антагониста. Чашки после посева инкубировали в термостате при 25°C в течение 14 суток. В качестве контроля использовали чистую культуру фитопатогена. Для оценки антагонистической активности гриба *Trichoderma* sp. L-7 по отношению к фитопатогенным микромицетам рассчитаны величины ростовых коэффициентов (РК) и процент ингибирования роста фитопатогена [13]. Ростовый коэффициент (РК) рассчитывали согласно формуле: $\text{РК} = (d \cdot h \cdot g) / t$, где d – диаметр колонии, мм; h – высота колонии (мм), g – плотность колонии (балл), t – возраст колонии (сутки). Ингибирование роста фитопатогена на учетные сутки культивирования рассчитывали по формуле: $\text{Р} = (K - A) / K \cdot 100\%$, где K – рост гриба в контроле (мм), A – рост гриба в варианте опыта (мм).

In vitro тестирование антагонистической активности ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным грибам *Alternaria* проводили в чашках Петри на среде КГА в четырехкратной повторности [16]. Суточные культуры штаммов ризобактерий наносили петлей на поверхность агара на расстоянии 1 см от края чашки. После инкубации в термостате в течение суток ($t = 28^{\circ}\text{C}$) в центр чашки наносили блоки с активно выросшим фитопатогеном. Результаты учитывали по истечении 3, 5, 7 и 10 суток совместного культивирования. Ингибирование радиального роста гриба вычисляли по формуле: $\text{ИРРГ} (\%) = [1 - \text{рост гриба в варианте опыта} / \text{рост гриба в контроле}] \cdot 100\%$.

Полевой стационар «Стоковые площадки». Сравнительные испытания трехкомпонентной микобактериальной композиции (МБК) и ее отдельных составляющих – моноинокулянтов *A. brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81 и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 проводили в полевом стационаре «Стоковые площадки» на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на мощных лессовидных суглинках в Центральной почвенно-экологической провинции (СПК «Щомыслица», Минский р-н). Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножия склона. Склон северной экспозиции ($5-6^{\circ}$). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы представлены в табл. 1.

Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	ГОСТ 26207-91, мг/кг		ГТК (по Селянинову)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
2017–2018 (сток. площ. 8)	1,8–2,1	5,4–5,8	360–428	233–300	1,44; 1,66

Эффективность обработки посевов МБК и моноинкулянтами изучали на ячмене яровом сорта Стратус (2017 г.) и ржи озимой сорта Пламя (2018 г.). Фоны удобрений – N₉₀₊₃₀P₅₀K₉₀ под ячмень, N₉₀₊₃₀P₅₀K₁₀₀ – под рожь. Фосфорные (аммофос) и калийные удобрения (хлористый калий) применяли для основного внесения, азотные (карбамид) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки – 22 м² (2,2x10), учетная – 20 м² (2,0x10).

Метеорологические условия периодов вегетации (2017–2018 гг.) в сравнении со среднеголетними данными представлены графически (рис.).

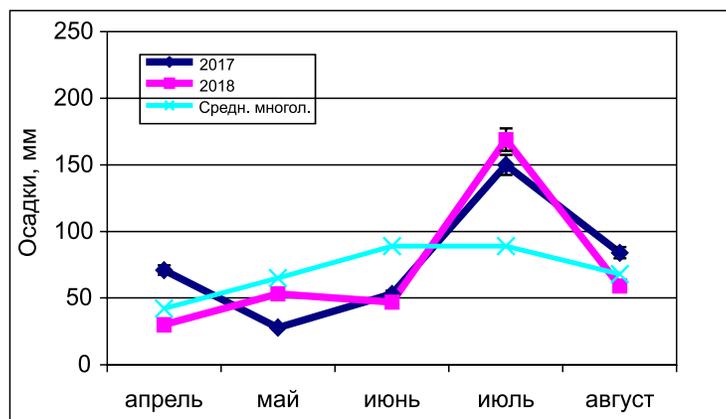
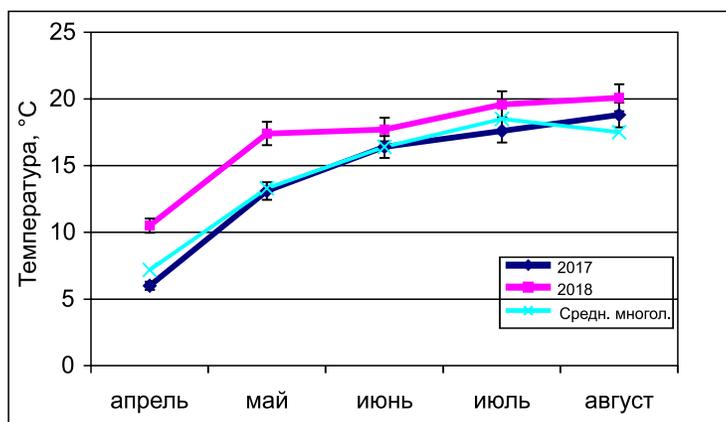


Рис. Метеорологические условия вегетации зерновых культур

Для обработки посевов зерновых культур использовали жидкую препаративную форму инокулянтов. Титры активных агентов в моноинокулянтах – не ниже $1,0 \cdot 10^9$ КОЕ/мл. Микобактериальную композицию готовили непосредственно перед применением при соотношении компонентов 1:1:1. Концентрация микобактериальной композиции *A. brasilense* ($1,0-2,04 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) + *B. circulans* ($1,0-2,04 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) + *T. longibrachiatum* (КОЕ/мл – $1,14 \cdot 10^9$) – 5,0%.

Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили на посевах ячменя отбирали в фазах кущения, выхода в трубку и восковой спелости (2017 г.), озимой ржи – в стадиях колошения и молочной спелости (2018 г.). *Распространенность болезни* (Р, процент пораженных растений) рассчитывали по формуле: $R = (n \cdot 100) : N$, где n – количество больных растений в пробах (экз.), N – общее количество растений в пробах (экз.). *Развитие болезни* (R, %) рассчитывали по формуле: $R = (\sum ab \cdot 100) : (N \cdot k)$, где ab – произведение числа растений (a) на соответствующий балл поражения (b, N – количество взятых для учета растений (экз.), k – наивысший балл шкалы оценки поражения корневой системы в варианте опыта. *Биологическую эффективность* (БЭ, %) рассчитывали по показателю развития болезни, или степени поражения, по формуле: $БЭ = (\Pi_k - \Pi_o) \cdot 100 : \Pi_k$, где Π_k – процент развития, или степень поражения, растений в контроле, Π_o – процент развития или степень поражения на варианте опыта [21]. Шкала оценки степени пораженности корневой системы растений: отсутствие поражения – 0, поражение до 1/3 корневой системы – 1, поражение от 1/3 до 2/3 корневой системы – 2, поражение более 2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур и отбор растительных образцов для определения химического состава продукции производили поделочно. Содержание элементов питания в зерне определяли методом ИК-спектроскопии (NIR Systems 4500). Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние микробных инокулянтов на урожайность ячменя ярового и ржи озимой. Установлено, что применение моноинокулянтов и трехкомпонентной микробной композиции способствовало повышению урожайности ячменя ярового и ржи озимой по всей почвенно-эрозионной катене (на всех элементах склона). Эффективность инокуляции зависела от вида, состава микробного инокулянта, возделываемой зерновой культуры и условий вегетации. Наибольшие прибавки зерна ячменя ярового Стратус – 5,2 (9,3 %) и 4,9 ц/га (9,2 %) обеспечило применение трехкомпонентного инокулянта на незеродированной и слабоэродированной почвах. На среднеэродированной почве в 2017 г. отмечено нетипичное снижение прибавки от инокуляции посевов МБК до 4,8 %, связанное, очевидно, с дефицитом осадков в начале вегетации ячменя (май) и значительным превышением их нормы в июле по сравнению со средними многолетними показателями. В ранее проведенных исследованиях с яровым ячменем и яровой пшеницей установлено повышение эффективности МБК с увеличением степени эродированности почвы [15, 17]. Этот факт подтверждают данные, полученные при возделывании озимой ржи Пламя: прибавки зерна за счет МБК (*A. brasilense* + *B. circulans* +

T. longibrachiatum) составили 7,0 %, 7,4 % и 9,8 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах (табл. 2). Стрессовые условия активизируют деятельность микроорганизмов.

Эффективность применения отдельных компонентов МБК возрастала с увеличением степени эродированности почвы. Прибавки урожайности ячменя за счет применения азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* составили: на незэродированной почве – 4,9 %, на слабоэродированной – 6,6 % и на среднеэродированной – 6,6 %, за счет внесения калиймобилизирующих ризобактерий *B. circulans* – 3,2, 6,6 и 5,8 % и за счет гриба-антагониста *T. longibrachiatum* – 3,2, 4,3 и 5,8 % соответственно. Эффективность применения моноинокулянтов на посевах ржи озимой также возрастала в стрессовых условиях: прибавки урожайности зерна при инокуляции посевов азотфиксирующими ризобактериями *A. brasilense* составили: на незэродированной почве – 3,9 %, на слабоэродированной – 4,3 % и на среднеэродированной – 6,5 %, за счет калиймобилизирующих ризобактерий *B. circulans* – 3,1, 4,7 и 5,4 % и за счет применения гриба-антагониста *T. Longibrachiatum* – 3,0, 4,3 и 6,1 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние МБК на урожайность зерновых культур
на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках
(«Стоковые площадки», 2017–2018 гг.)**

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
<i>Яровой ячмень Стратус, 2017 г.</i>									
Контроль	56,2	53,0	51,8	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	59,0	56,5	55,2	2,8	4,9	3,5	6,6	3,4	6,6
<i>B. circulans</i>	58,0	56,5	54,8	1,8	3,2	3,5	6,6	3,0	5,8
<i>T. longibrachiatum</i>	58,0	55,3	54,8	1,8	3,2	3,0	4,3	3,0	5,8
МБК	61,4	57,9	54,3	5,2	9,3	4,9	9,2	2,5	4,8
НСР ₀₅ фактор А (почва) – 1,79 фактор В (инокуляция) – 2,82									
<i>Озимая рожь Пламя, 2018 г.</i>									
Контроль	54,0	51,3	46,1	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	56,1	53,5	49,1	2,1	3,9	2,2	4,3	3,0	6,5
<i>B. circulans</i>	55,7	53,7	48,6	1,7	3,1	2,4	4,7	2,5	5,4
<i>T. longibrachiatum</i>	55,6	53,5	48,9	1,6	3,0	2,2	4,3	2,8	6,1
МБК	57,8	55,1	50,6	3,8	7,0	3,8	7,4	4,5	9,8
НСР ₀₅ фактор А (почва) – 1,37 фактор В (инокуляция) – 2,24									
1 – незэродированная почва; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва									

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов ячменя ярового и ржи озимой. На основании учета распространенности и развития корневой гнили в разные фазы развития ячменя установлено, что применение МБК *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижало проявление болезни в течение всего периода вегетации. Наибольшее число пораженных растений ячменя в начале вегетации отмечено в контроле (38,0 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 13,8 % (табл. 3). В фазе восковой спелости зерна распространенность корневой гнили увеличилась

в контрольных вариантах на всех элементах склона. В контрольном варианте корневой гнилью было заражено 76,0–84,0 % растений, максимальный балл поражения – 2. На вариантах опыта с обработкой посевов МБК распространенность болезни на незэродированной почве была ниже контроля на 52,0 %, на слабоэродированной – на 54,0 % и на среднеэродированной – на 58,0 %; развитие корневой гнили снижалось в фазе кущения – в 1,9, 1,8 и 2,4 раза, в фазе восковой спелости зерна – в 2,9, 2,8 и 2,6 раза соответственно. Биологическая эффективность микобактериальной композиции на водоразделе варьировала от 48,2 до 69,5 %, на слабоэродированной почве – от 45,9 до 66,3 % и на среднеэродированной – от 57,9 до 67,6 % (табл. 3).

Таблица 3

Влияние микобактериальной композиции на развитие и распространенность корневой гнили ячменя ярового Стратус на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки», 2017г.)

Вариант	Кущение			Выход в трубку			Восковая спелость		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
<i>Незэродированная почва</i>									
Контроль	33,0	8,3	–	51,0	14,0	–	76,0	20,3	–
МБК	17,0	4,3	48,2	18,0	5,0	64,3	24,0	7,0	69,5
<i>Слабоэродированная</i>									
Контроль	30,0	9,8	–	52,0	16,3	–	81,0	20,8	–
МБК	21,0	5,3	45,9	19,0	6,3	66,3	27,0	7,3	64,9
<i>Среднеэродированная</i>									
Контроль	38,0	13,8	–	56,0	18,5	–	84,0	22,8	–
МБК	23,0	5,8	57,9	20,0	6,0	67,6	26,0	8,8	61,4
P – развитие болезни (%)									
R – распространенность болезни (%)									
БЭ – биологическая эффективность (%)									

При оценке пораженности посевов ржи озимой Пламя также выявлено, что применение микробных инокулянтов способствовало снижению патологического процесса. В фазе молочной спелости максимальное число зараженных растений отмечено на контрольном варианте (85,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 21,3 %, максимальный балл поражения – 1 (табл. 4). Обработка посевов трехкомпонентной микобактериальной композицией способствовала снижению распространенности корневой гнили на 45,0 %, 42,4 % и 42,9 %, развития болезни – в 2,6; 2,1 и 2,0 раза на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность составила 61,2 %, 52,5 % и 50,2 % соответственно.

Среди протестированных моноинокулянтов наибольшая биологическая эффективность отмечена при использовании гриба-антагониста *Trichoderma* sp. L-7: на незэродированной почве – 48,6 %, на слабоэродированной – 42,1 % и на среднеэродированной – 47,4 %. Биологическая эффективность бактериальных инокулянтов была ниже, чем у гриба-антагониста, однако они также вносят вклад в биологический контроль фитопатогенов. При использовании *A. brasilense* биоло-

гическая эффективность составила 11,6, 20,7 и 21,7 %, *B. circulans* – 14,2, 10,9 и 15,5 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

Таблица 4

Влияние микробных инокулянтов на развитие и распространенность корневой гнили ржи озимой Пламя («Стоковые площадки, 2018 г.)

Вариант	Колошение			Молочная спелость		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
Неэродированная почва						
Контроль	53,3	13,3	–	73,3	18,3	–
<i>A. brasilense</i>	48,6	12,1	9,9	65,7	16,4	11,6
<i>B. circulans</i>	49,3	12,3	7,5	62,7	15,7	14,2
<i>T. longibrachiatum</i>	37,7	9,4	29,3	37,7	9,4	48,6
МБК	36,8	9,2	30,8	28,3	7,1	61,2
Слабоэродированная						
Контроль	67,0	16,8	–	80,9	20,2	–
<i>A. brasilense</i>	54,0	13,5	24,4	63,5	15,9	20,7
<i>B. circulans</i>	58,1	14,5	13,7	72,0	18,0	10,9
<i>T. longibrachiatum</i>	44,4	11,1	33,9	46,7	11,7	42,1
МБК	39,6	9,9	41,1	38,5	9,6	52,5
Среднеэродированная						
Контроль	70,6	17,6	–	85,3	21,3	–
<i>A. brasilense</i>	58,5	14,6	20,5	69,8	17,5	21,7
<i>B. circulans</i>	59,8	14,9	15,3	72,2	18,0	15,5
<i>T. longibrachiatum</i>	41,6	10,4	40,9	44,9	11,2	47,4
МБК	39,1	9,8	44,3	42,4	10,6	50,2
P – развитие болезни (%)						
R – распространенность болезни (%)						
БЭ – биологическая эффективность (%)						

Влияние микробных инокулянтов на химический состав и качество зерна ячменя ярового и ржи озимой. С применением метода ИК-спектроскопии определен химический состав зерна ячменя ярового Стратус. Содержание общего азота варьировало по вариантам опыта в пределах 1,53–2,09 %, белкового азота – 1,36–1,90 %, фосфора – 0,99–1,18 %, калия – 0,53–0,62, кальция – 0,03–0,05 %, магния – 0,17–0,20 % (табл. 5). Установлено достоверное повышение содержания общего и белкового азота при использовании бактериальных моноинокулянтов (*A. brasilense* и *B. circulans*) и трехкомпонентной микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* на всех элементах склона. Наиболее значимое влияние на содержание азота в зерне оказывали азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* и трехкомпонентная микробная композиция. На среднеэродированной почве отмечено повышение содержания фосфора в зерне ячменя ярового на вариантах с применением *A. brasilense*. При дефиците доступного фосфора в ризосфере азоспириллы способны мобилизовать фосфор из труднорастворимых ортофосфатов и обеспечивать физиологические потребности

растений [11]. Влияние инокуляции посевов на содержание K_2O , CaO и MgO в зерне ячменя было несущественным. Отмечена тенденция снижения содержания элементов питания в зерне ячменя по почвенно-эрозионной катене, от водораздела к слабо- и среднеэродированной почвам.

Таблица 5

Влияние инокуляции посевов на химический состав зерна ячменя ярового и ржи озимой (процент на сухое вещество, «Стоковые площадки»)

Вариант	Ячмень яровой Стратус						Рожь озимая рожь Пламя					
	N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Неэродированная почва</i>												
Контроль	1,78	1,60	1,16	0,59	0,04	0,19	1,53	1,35	0,70	0,46	0,07	0,15
<i>A. brasilense</i>	2,09	1,90	1,13	0,60	0,04	0,20	1,79	1,59	0,75	0,43	0,07	0,17
<i>B. circulans</i>	1,97	1,76	1,18	0,62	0,05	0,19	1,65	1,46	0,78	0,44	0,07	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,72	1,52	1,08	0,60	0,04	0,18	1,66	1,48	0,79	0,46	0,07	0,18
МБК	2,09	1,87	1,17	0,58	0,04	0,19	1,76	1,56	0,75	0,52	0,07	0,17
<i>Слабозэродированная</i>												
Контроль	1,58	1,42	1,01	0,59	0,04	0,18	1,45	1,29	0,77	0,50	0,07	0,17
<i>A. brasilense</i>	2,00	1,81	1,05	0,57	0,04	0,19	1,74	1,54	0,74	0,39	0,08	0,16
<i>B. circulans</i>	1,78	1,58	1,05	0,60	0,03	0,19	1,61	1,43	0,75	0,45	0,08	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,61	1,43	0,99	0,55	0,03	0,17	1,65	1,46	0,78	0,51	0,07	0,16
МБК	1,90	1,73	1,18	0,61	0,04	0,18	1,68	1,51	0,75	0,42	0,07	0,17
<i>Среднеэродированная</i>												
Контроль	1,53	1,36	1,03	0,60	0,03	0,18	1,44	1,27	0,74	0,49	0,07	0,16
<i>A. brasilense</i>	1,89	1,67	1,14	0,61	0,04	0,18	1,61	1,42	0,75	0,46	0,08	0,16
<i>B. circulans</i>	1,88	1,69	1,06	0,57	0,04	0,19	1,51	1,34	0,78	0,51	0,07	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,61	1,43	1,05	0,53	0,03	0,19	1,57	1,39	0,73	0,48	0,07	0,16
МБК	1,88	1,68	1,12	0,59	0,04	0,18	1,59	1,41	0,75	0,49	0,08	0,16
НСР ₀₅ А (почва)	0,09	0,08	0,06	0,02	0,004	0,01	0,06	0,05	0,07	0,05	0,005	0,01
В (инокуляция)	0,14	0,13	0,10	0,04	0,007	0,01	0,11	0,09	0,12	0,03	0,004	0,01

Содержание общего азота в зерне озимой ржи Пламя варьировало в пределах 1,44–1,79 %, белкового азота – 1,27–1,59 %, фосфора – 0,70–0,79 %, калия – 0,39–0,51, кальция – 0,07–0,08 %, магния – 0,15–0,18 % (табл. 5). Все изученные приемы инокуляции повышали содержание общего и белкового азота в зерне озимой ржи на разных элементах склона. Наибольший эффект также отмечен при внесении азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* как в качестве моноинокулянта, так и в составе микобактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum*. На неэродированной почве за счет применения указанных инокулянтов содержание белкового азота повышалось до 1,56–1,59 %, по сравнению с 1,35 % на контроле, на слабозэродированной – до 1,51–1,54 %, по сравнению с 1,29 % на контроле, на среднеэродированной – до 1,41–1,42 %, по сравнению с 1,27 % на контроле. Микробные инокулянты не оказывали значимого действия на содержание K_2O , P_2O_5 , CaO и MgO в зерне ржи озимой на водоразделе, слабо- и среднеэродированной почвах.

Применение микробных инокулянтов повышало массу 1000 зерен, содержание и сбор белка. Наиболее значимый положительный эффект обеспечивало применение микобактериальной композиции и азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* в качестве инокулянтов (табл. 6).

Таблица 6

Влияние микробных инокулянтов на качество зерновых культур при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах («Стоковые площадки» 2017–2018 гг.)

Вариант	Ячмень яровой Стратус			Рожь озимая Пламя		
	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г
<i>Неэродированная почва</i>						
Контроль	11,1	5,4	52,2	9,6	4,5	45,3
<i>A. brasilense</i>	13,1	6,6	53,8	11,2	5,4	46,6
<i>B. circulans</i>	12,3	6,1	53,3	10,3	4,9	46,3
<i>T. longibrachiatum</i>	10,8	5,4	53,5	10,4	5,0	46,1
МБК	13,1	6,9	54,2	11,0	5,5	47,1
<i>Слабозэродированная</i>						
Контроль	9,9	4,5	51,4	9,1	4,0	42,9
<i>A. brasilense</i>	12,5	6,1	52,4	10,9	5,0	43,6
<i>B. circulans</i>	11,1	5,4	52,4	10,1	4,7	43,4
<i>T. longibrachiatum</i>	10,1	4,8	52,2	10,3	4,7	43,4
МБК	11,9	5,9	53,5	10,5	5,0	44,4
<i>Среднеэродированная</i>						
Контроль	9,6	4,3	50,8	9,0	3,6	41,2
<i>A. brasilense</i>	11,8	5,6	51,6	10,1	4,3	42,8
<i>B. circulans</i>	11,7	5,5	51,5	9,4	3,9	42,1
<i>T. longibrachiatum</i>	10,1	4,8	51,2	9,8	4,1	42,1
МБК	11,7	5,5	52,9	9,8	4,3	43,3
НСП ₀₅ А (почва)	0,56	–	0,30	0,38	–	0,28
В (инокуляция)	0,88	–	0,50	0,69	–	0,46

Антагонистическая активность грибного и бактериальных компонентов микобактериальной композиции. Представителям рода *Trichoderma* принадлежит ведущая роль среди почвенных антагонистов грибного происхождения. Результаты многочисленных исследований показали их высокую эффективность против таких фитопатогенов, как *Rhizoctonia solani* J.G. Кьhn, *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* J., Walke и многих других [18–20].

Исследования антагонистической активности грибного компонента микобактериальной композиции *T. longibrachiatum* L-7 проводили в отношении наиболее часто встречающихся возбудителей корневой гнили зерновых культур – *Fusarium culmorum*, *Fusarium poae*, *Fusarium graminearum* и *Bipolaris sorokiniana*. Гриб-антагонист *T. longibrachiatum* L-7 показал высокий эффект по ингибированию роста патогенов. На 7-ые сутки совместного культивирования диапазон ингибирования роста 14 изолятов *F. culmorum* составил 63,7–94,2 %, 12 изолятов *F. poae* – 70,3–

93,8 %, 13 изолятов *F. graminearum* – 58,8–89,5 % и 11 изолятов *B. sorokiniana* – 54,6–88,7 % (табл. 7). В отношении большинства изолятов отмечен гиперпаразитический характер антагонистических отношений. В отношении двух изолятов *F. culmorum* отмечен территориальный антагонизм по III типу. Смешанный антагонизм по II и IV типу наблюдали в отношении 27,3 % изолятов *Bipolaris sorokiniana*, 53,8 % изолятов *F. graminearum*, 28,6 % изолятов *F. culmorum* и 41,7 % изолятов гриба *F. poae*. Результаты исследований свидетельствуют о высокой антагонистической активности грибного компонента микробной композиции – *T. longibrachiatum* L-7.

Таблица 7

Антагонистическая активность гриба *T. longibrachiatum* L-7 в отношении фитопатогенов pp. *Fusarium* и *Bipolaris* (in vitro, 2019 г.)

Изолят	Ростовой коэффициент	Ингибирование роста патогена, %
<i>Fusarium culmorum</i> (1–14)	10,4–64,3	63,7–94,2
<i>Fusarium poae</i> (1–12)	12,0–52,5	70,3–93,8
<i>Fusarium graminearum</i> (1–13)	9,2–73,1	58,8–89,5
<i>Bipolaris sorokiniana</i> (1–11)	12,0–52,5	54,6–88,7

Проведена оценка антагонистической активности азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 по отношению к фитопатогенным грибам родов *Fusarium* и *Alternaria*. На 10-ые сутки совместного культивирования штамм *A. brasilense* ингибировал радиальный рост гриба (ИРПГ) *Alternaria* sp. на 25,1–29,5 %, штамм *B. circulans* – на 28,4–30,0 %. Диапазон ингибирования радиального роста грибов р. *Fusarium* за счет *A. brasilense* составил 34,3–46,7 %, за счет *B. circulans* – 23,3–44,4 % (табл. 8). Антагонистическая активность ризобактерий значительно ниже по сравнению с *T. longibrachiatum* L-7, однако они также могут вносить вклад в биологический контроль фитопатогенов.

Таблица 8

Антагонистическая активность ризобактерий в отношении фитопатогенов pp. *Fusarium* и *Alternaria* (in vitro, 2019 г.)

Фитопатоген	ИРПГ, %	
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Bacillus circulans</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	34,3–35,3 (34,8)	23,3–29,3 (26,3)
<i>Fusarium poae</i>	41,4–46,7 (44,1)	40,2–44,4 (42,3)
<i>Fusarium graminearum</i>	41,8–42,2 (42,0)	37,8–38,0 (37,9)
<i>Alternaria</i> sp.	25,1–29,5 (27,3)	28,4–30,0 (29,2)

Таким образом, все компоненты микобактериальной композиции прямо или косвенно способствуют повышению адаптационного потенциала зерновых культур при возделывании на эродированных почвах. Бактериальные компоненты оказывают прямое адаптационное действие, стимулируя развитие корневой системы растений и улучшая мобилизацию азота, фосфора и калия из атмосферы, почвы и удобрений [5–9, 10, 11, 15, 17]. Грибной компонент МБК способствует адаптации растений за счет эффективного биологического контроля фитопатогенных микромицетов [15]. Аддитивное действие составных компонентов микобактериальной

композиции обеспечивают полифункциональное положительное воздействие на продуктивный статус зерновых культур, что выражается в повышении урожайности и качества продукции зерновых культур.

ВЫВОДЫ

Установлено, что трехкомпонентная микобактериальная композиция *A. brasilense* + *B. Circulans* + *T. longibrachiatum* является эффективным инокулянтом для ячменя ярового и ржи озимой при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках. Наибольшие прибавки зерна ячменя ярового Стратус – 5,2 (9,3 %) и 4,9 ц/га (9,2 %) обеспечило применение трехкомпонентного инокулянта на незэродированной и слабоэродированной почвах. При возделывании ржи озимой Пламя прибавки зерна за счет применения МБК (*A. brasilense* + *B. Circulans* + *T. longibrachiatum*) составили 7,0 %, 7,4 % и 9,8 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах.

Обработка посевов МБК снижала распространенность корневой гнили ячменя ярового на 52,0, 54,0 и 58,0 %, развитие болезни (восковая спелость) – в 2,9, 2,8 и 2,6 раза, биологическая эффективность МБК составила 69,5, 66,3 и 67,6 % на эродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. На посевах ржи озимой применение МБК снижало распространенность корневой гнили (молочная спелость) на 45,0 %, 42,4 % и 42,9 %, развития болезни – в 2,6, 2,1 и 2,0 раза, биологическая эффективность составила 61,2 %, 52,5 % и 50,2 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. *In vitro* тестирование антагонистической активности грибного компонента МБК – *T. longibrachiatum* L-7 – свидетельствует о его высокой эффективности в качестве агента биологического контроля.

Применение микобактериальной композиции повышало содержание общего и белкового азота в зерне ячменя ярового и ржи озимой. Как правило, наиболее значимое действие оказывали инокулянты, включающие азотфиксирующие бактерии *A. brasilense*. Результаты исследований на почвах, подверженных эрозионной деградации, показали, что микобактериальная композиция сочетает свойства биоудобрения, регулятора роста и биофунгицида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черныш, А. Ф. Экологически безопасное использование земель холмисто-моренных ландшафтов Белорусского Поозерья / А. Ф. Черныш, Ю. П. Качков, И. И. Касьяненко // Природные ресурсы. – 2003. – № 2. – С. 21–36.
2. Косинова, Л. Ю. Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири / Л. Ю. Косинова, Н. И. Гантимурова, А. А. Танасиенко // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 72–80.
3. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
4. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
5. Kennedy, I. R. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances / I. R. Kennedy, Y. Tchan // Plant Soil. – 1992. – V. 141. – P. 93–118.

6. Kennedy, I. R. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I. R. Kennedy, A. T. M. A. Chouhury, M. L. Kecskes // Soil Biol. Biochem. – 2004. – Vol. 36, № 8. – P. 1229–1244.
7. Bashan, Y. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
8. Dobbelaere, S. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere / S. Dobbelaere S., J. Vanderleyden, Y. Okon // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2003. – V. 22. – P. 107–149.
9. Okon, Y. Advances in agronomy and ecology of the *Azospirillum*/plant association. Nitrogen Fixation: Fundamentals and applications / Y. Okon // Kluwer Academic Publishers. – Netherlands, 1995. – P. 635–652.
10. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
11. . Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
12. Тарунина, Т. А. Методы оценки антагонистической активности штаммов *Trichoderma lignorum* Harz / Т. А. Тарунина, Т. Ю. Маслова // Микология и фитопатология. – 1979. – Т. 13, № 6. – С. 511–516.
13. Защита зерновых культур от болезней: монография / А. Ю. Кекалор [и др.]. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 172 с.
14. Gerlach, W. The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin, 1982. – 406 S. – (Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft; H. 209).
15. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 166–176.
16. Старшов, А. А. Микроорганизмы с фосфатрастворяющими и фунгицидными свойствами как основа для создания комплексного препарата, альтернативного фосфорным удобрениям и химическим фунгицидам: дис. ...канд. биол. наук / А. А. Старшов; ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии. – Оболенск, 2013. – 147 с.
17. Эффективность микробных инокулянтов при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения. ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», г. Владимир, 22–24 июня, 2018. – Владимир, 2018. – С. 182–186.
18. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains / T. Benitez [et al.] // Intern. Microbiology. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 249–260.
19. Cook, R. J. Biological control of Plant Pathogens: Theory to Application / R. J. Cook // Phytopatology. – 1985. – Vol. 75. – № 1. – P. 25–29.
20. Chet, I. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naterally supressive to *R. solani* / I. Chet, R. Baker // Phytopatology. – 1981. – Vol. 71, № 3. – P. 286–290.

EFFICIENCY OF MICROBIAL COMPOSITION TREATMENT ON SPRING BARLEY AND WINTER RYE PLANTS GROWING ON ERODED SOD-PODZOLIC SOILS ON LOESSLIKE LOAM

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Viotka, N. N. Tsybulko, E. K. Yuzefovitch,
A. M. Ustinova, T. B. Barashenko, S. V. Dyusova**

Summary

Microbial composition *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* was found to be an effective inoculant for the treatment of spring barley and winter rye plants growing on eroded sod-podzolic soils on loesslike loam. Application of microbial composition resulted in the increase of grain yields of spring barley and winter rye as well as in the improvement of protein content in grain. Microbial composition beneficially influenced on plant growth, mineral nutrition and significantly decreased of plant root infections abundance and development.

Поступила 06.12.19

УДК 631.8:633.35

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, РЕГУЛЯТОРА РОСТА И РИЗОБИАЛЬНОГО ИНОКУЛЯНТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОЛЕВОГО ГОРОХА

И. Р. Вильдфлуш, О. В. Малашевская

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из резервов повышения урожайности и белковой продуктивности зернобобовых культур является применение различных видов и доз удобрений для оптимизации их минерального питания. В настоящее время в сельском хозяйстве многих стран мира большое внимание уделяется некорневым подкормкам посевов как наиболее эффективному способу применения микроудобрений, прежде всего, из-за многократного снижения доз их расхода.

Также уделяется много внимания применению микроэлементов и регуляторов роста на культурах, возделываемых в Республике Беларусь. По литературным данным, включение комплексных удобрений со сбалансированным содержанием макро- и микроэлементов, высокоэффективных микроудобрений и регуляторов роста в систему удобрения позволит оптимизировать питание растений, снизить влияние неблагоприятных условий произрастания и получать более стабильные урожаи сельскохозяйственных культур [1].

В полевых опытах БГСХА с узколистым люпином изучено влияние бактериальных препаратов на урожайность зерна; в среднем за три года исследований

урожайность составила от 18,0 на контроле до 27,0 ц/га при инокуляции семян смесью Сапронита с Ризобактерином [2]. Исследования Какшинцева А. В. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в северо-восточной части Беларуси показали, что за счет применения регулятора роста Эпина на фоне $P_{40}K_{60}$ урожайность семян люпина сорта Гелена возрасла на 3,3 ц, Першацвет – на 4,2 ц, Бисер – на 3,3 ц/га, а при использовании регулятора роста Эмистима – на 2,9 ц, 3,4 и 4,1 ц/га соответственно. При этом количество бобов на одном растении увеличивалось на 1 шт. у сорта Гелена и на 0,4 шт. у сорта Першацвет; масса 1000 семян возрасла на 5,8 и 2,6 г соответственно [3].

Влияние доз минеральных удобрений, бактериальных препаратов и регуляторов роста растений на урожайность и качество овса и гороха было исследовано в опытах БГСХА. По данным О. И. Мишуры, инокуляция семян гороха Сапронитом и овса Ризобактерином была равнозначна внесению 20 кг и 20–30 кг азота минеральных удобрений соответственно, а применение Фитостимифоса – 40 кг д. в. фосфорных удобрений. Обработка посевов гороха на фоне $N_{30}P_{40}K_{60}$ Эпином повышает урожайность семян на 0,30, Эмистимом С – на 0,34 и Агростимулином – на 0,42 т/га. Некорневые подкормки гороха кобальтом на фоне $N_{50}P_{50}K_{90}$ увеличивают урожайность семян на 0,28, молибденом – на 0,29, бором и комплексным микроудобрением Миком – на 0,42 т/га [4].

По данным Завалина А. А., эффективность проведения инокуляции сельскохозяйственных растений очевидна. Она позволяет повысить продуктивность посевов. Применение бактериальных препаратов по урожайности в эквиваленте не уступает внесению азотного удобрения в дозах 30–45 кг/га. Действие препаратов на продуктивность культур возрастает при посеве инокулированными семенами на фоне стартовой дозы азотного удобрения. При этом сбор продукции такой же, как при внесении удвоенной дозы азота минеральных удобрений [5].

Цель исследований – изучить влияние новых форм удобрений для допосевного внесения (АФК с В и Мо), сочетания минеральных удобрений с регулятором роста Экосилом, многокомпонентным удобрением для некорневых подкормок (Кристалон желтый и особый) с микроудобрением Адоб В, комплексного микроудобрения с регулятором роста (МикроСтим В) и инокуляции семян ризобактериальным инокулянтном на урожайность, качество семян гороха полевого сорта Зазерский усатый, содержание и вынос элементов питания с урожаем, дать экономическую оценку их эффективности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты с горохом посевным сорта Зазерский усатый проводили в 2015–2017 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком. Почва опытного участка в годы исследований имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, низкое и среднее содержание гумуса, высокое содержание подвижного фосфора, среднее повышенное – калия, среднее содержание бора и меди. По степени окультуренности почва в 2016 и 2017 гг. относится к среднеокультуренной, а в 2015 – к высокоокультуренной (табл. 1).

Агрохимические показатели почвы опытного участка

pH _{KCl}	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Cu	Индекс окультуренности
		в подвижной форме, мг/кг почвы				
2015 г.						
6,4	1,6	298,1	232,5	0,7	1,7	0,89
2016 г.						
6,2	1,5	283,9	197,3	0,6	1,6	0,80
2017 г.						
5,9	1,3	261,1	172,5	–	2,9	0,70

Предшественником гороха был овес. Норма высева – 1,5 млн всхожих семян на га.

Для основного внесения в опытах применяли удобрения: карбамид (N – 46 %), аммофос (N – 12 %, P₂O₅ – 52 %), хлористый калий (K₂O – 60%). Использовали новое комплексное удобрение марки N:P:K (6:21:32), разработанное в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, с 0,16 % B и 0,09 % Mo.

В фазе бутонизации проводили обработки посевов борной кислотой (300 г/га) и молибдатом аммония (80 г/га), микроудобрением Адоб В (0,33 л/га), регулятором роста Экосил (75 мл/га), комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим В (1 л: 5 г азота, 150 г бора, 0,6–8,0 мг/л гуминовых веществ) – в дозе 0,33 л/га. Использовали две обработки комплексным удобрением Кристалон. Первую подкормку в фазе выбрасывания усов проводили Кристалоном желтым марки 13-40-13 (2 кг/га), который, наряду с азотом, фосфором и калием, содержит бор (0,025 %), медь (0,01 %), железо (0,07 %), марганец (0,04 %), молибден (0,004 %), цинк (0,025 %). Вторую подкормку Кристалоном особым марки 18-18-18 + 3 MgO (бор 0,025 %, медь 0,01 %, железо 0,07 %, марганец 0,04 %, молибден 0,004 %, цинк 0,025 %) проводили (2 кг/га) в фазу начала образования бобов.

В опытах изучена эффективность нового препарата для инокуляции семян гороха на основе специфических штаммов клубеньковых бактерий гороха *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* 27П. Препарат был разработан в Институте микробиологии НАН Беларуси. Инокуляцию семян проводили в день посева ручным способом в дозе 200 мл на гектарную норму высева семян.

Определение агрохимических показателей почвы и качества урожая проводили согласно ГОСТ и ОСТ. Данные, полученные в полевых опытах и лабораторных исследованиях, обрабатывали дисперсионным методом по Б. А. Доспехову с использованием специальных программ [6]. Расчет средней НСР за три года исследований производили по методу М. Ф. Дембицкого [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применяемые стандартные удобрения существенно повышали урожайность семян гороха (табл. 2). Внесение до посева N₁₀P₄₀K₆₀ увеличивало урожайность семян по сравнению с контролем на 7,7 ц/га, а N₁₈P₆₃K₉₆ – на 10,8 ц/га. В этих вариантах окупаемость 1 кг NPK кг семян составила в среднем за 3 года 7,0 и 6,1 кг. Увеличение доз минеральных удобрений до N₃₀P₇₅K₁₂₀ способствовало повышению урожайности семян гороха до 29,9 ц/га, при этом окупаемость 1 кг NPK

кг семян уменьшилась до 5,4 кг. Применение до посева АФК удобрения с В и Мо для зернобобовых культур повышало урожайность семян гороха на 4,5 ц/га, по сравнению с вариантом с эквивалентными дозами стандартных удобрений.

Таблица 2

Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность семян гороха в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	Прибавка к фону	Окупаемость 1 кг NPK кг семян
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя			
1. Без удобрений	14,7	18,1	20,2	17,7	–	–	–
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	29,4	20,2	26,5	25,4	7,7	–	7,0
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	33,0	22,1	30,5	28,5	10,8	–	6,1
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	33,9	22,5	33,3	29,9	12,2	1,4	5,4
5. АФК с В и Мо (NPK эквивалентно варианту 3)	38,5	26,6	33,9	33,0	15,3	–	8,6
6. Фон + В и Мо	35,2	24,7	33,8	31,2	13,5	2,7	7,6
7. Фон + Адоб В	37,1	25,5	36,9	33,2	15,5	4,7	8,8
8. Фон + Кристалон	39,0	26,2	38,4	34,5	16,8	6,0	9,5
9. Фон + Экосил	36,2	25,7	37,8	33,2	15,5	4,7	8,8
10. Фон + МикроСтим В	35,9	25,4	37,6	33,0	15,3	4,5	8,6
11. Фон + инокулянт	41,8	29,1	39,0	36,6	18,9	8,1	10,7
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	42,6	29,3	39,4	37,1	19,4	8,6	11,0
HCP ₀₅	2,3	1,9	1,8	1,2	–	–	–

Существенная прибавка к фону получена в вариантах с некорневыми подкормками бором при использовании жидких микроудобрений Адоб В и МикроСтим В. Урожайность семян в этих вариантах опыта возростала по сравнению с фоном N₁₈P₆₃K₉₆ на 4,7 и 4,5 ц/га. При двукратной обработке посевов гороха комплексным удобрением Кристалон урожайность семян по сравнению с фоновым вариантом возросла на 6,0 ц/га при окупаемости 1 кг NPK кг семян 9,5 кг. Достаточно высокая урожайность семян гороха (33,0 ц/га) и окупаемость 1 кг NPK кг семян (8,6 кг) отмечена в варианте с применением АФК удобрения с В и Мо в дозе NPK, эквивалентной варианту 3 (N₁₈P₆₃K₉₆).

Инокуляция семян гороха ризобияльным инокулянтом на фонах N₁₈P₆₃K₉₆ и N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим В повышала урожайность семян на 8,1 и 8,6 ц/га. В этих вариантах опыта получена наибольшая урожайность семян (36,6–37,1 ц/га).

Применение нового комплексного удобрения для допосевого внесения, сочетание минеральных удобрений с регулятором роста Экосилом, многокомпонентным удобрением для некорневых подкормок Кристалон, комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим В и инокуляции ризобияльным инокулянтом оказало положительное влияние на качество семян полевого гороха (табл. 3).

Применение азотных, фосфорных и калийных удобрений повышало содержание сырого белка в семенах и его выход по сравнению с вариантом без удобрений. Так, внесение N₃₀P₇₅K₁₂₀ увеличивало содержание сырого белка по сравнению с вариантом без удобрений на 1,5 %, а его выход – на 2,74 ц/га.

**Влияние удобрений и регуляторов роста на качество семян гороха
в среднем за 2015–2017 гг.**

Вариант опыта	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г			Средняя масса 1000 семян за 3 года, г
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	
1. Без удобрений	22,8	3,54	155,8	157,1	166,4	159,7
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	23,1	5,15	165,9	160,0	178,3	168,5
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	23,5	5,87	167,9	164,5	183,4	171,7
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	24,3	6,28	168,1	165,9	185,3	173,1
5. АФК с В и Мо (NPK эквивалентно варианту 3)	24,6	6,96	172,5	168,8	188,4	176,6
6. Фон + В и Мо	24,2	6,49	171,4	167,5	188,7	175,9
7. Фон + Адоб В	24,4	6,98	172,0	166,8	189,7	176,2
8. Фон+ Кристалон (особый + желтый)	24,2	7,13	172,7	169,9	193,8	178,8
9. Фон + Экосил	24,3	6,92	172,4	167,3	193,6	177,8
10. Фон + МикроСтимВ	24,0	6,78	171,5	166,6	193,0	177,0
11. Фон + инокулянт	24,4	7,50	177,8	177,6	194,3	183,6
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	25,2	7,82	178,9	177,7	194,5	184,4
НСР ₀₅	0,7	–	1,9	1,4	2,9	1,2

Некорневые обработки Адоб В и микроэлементами В и Мо, комплексным удобрением Кристалон на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ повышали содержание сырого белка в семенах гороха с 23,5 % на 0,7–0,9 %. Применение комплексного АФК удобрения с В и Мо повышало содержание сырого белка на 1,1 % по сравнению с внесением в эквивалентной дозе (N₁₈P₆₃K₉₆) аммофоса и хлористого калия.

Наиболее высокое содержание сырого белка (25,2 %) зафиксировано в варианте с применением N₁₈P₆₃K₉₆+ инокулянт + МикроСтим В. Достаточно высокий выход сырого белка отмечен в вариантах с обработкой посевов Кристалоном на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ и с внесением комплексного удобрения АФК с В и Мо, он составил 7,13 и 6,96 ц/га. Наибольший выход сырого белка получен в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим В, он составил 7,50 и 7,82 ц/га.

Применение макро- и микроудобрений способствовало увеличению массы 1000 семян гороха по сравнению с контролем. Наибольшая масса 1000 семян гороха (183,6 и 184,4 г) отмечена в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим В.

Содержание азота, фосфора и калия в семенах полевого гороха и вынос их с урожаем семян приведено в табл. 4.

Наибольшее содержание азота в семенах гороха в среднем за три года было в вариантах, где проводилась инокуляция семян и вносилось комплексное АФК удобрение с В и Мо (3,91–4,04 %). Содержание фосфора и калия в семенах гороха по вариантам опыта изменялось в незначительных пределах. Максимальный вынос азота, фосфора и калия с семенами был в варианте с проведением инокуляции семян ризобияльным инокулянтом на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим В.

Таблица 4

Влияние удобрений и регуляторов роста на содержание в семенах гороха элементов питания и их вынос с семенами в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания семенами, кг/га		
	процент на сухое вещество			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	3,66	1,02	1,42	55,7	15,5	21,3
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	3,70	1,06	1,40	80,8	23,2	30,4
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	3,77	1,11	1,39	92,4	27,2	33,9
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	3,88	1,08	1,36	99,8	27,8	34,9
5. АФК с В и Мо (НРК эквивалентно варианту 3)	3,94	1,10	1,37	111,8	31,2	38,7
6. Фон + В и Мо	3,87	1,07	1,29	103,8	28,7	34,3
7. Фон + Адоб В	3,89	1,07	1,29	111,1	30,6	36,5
8. Фон + Кристалон	3,88	1,08	1,30	115,1	32,0	38,1
9. Фон + Экосил	3,89	1,09	1,31	111,1	31,1	36,9
10. Фон + МикроСтим В	3,86	1,10	1,29	109,5	31,2	36,0
11. Фон + инокулянт	3,91	1,10	1,29	123,1	34,6	40,0
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	4,04	1,12	1,27	128,9	35,7	40,0
НСР ₀₅	0,11	0,05	0,08	–	–	–

Урожайность соломы гороха была выше в вариантах с обработкой посевов комплексным удобрением Кристалон, применением инокулянта на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ и N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим В. В этих вариантах опыта она составляла 41,4–44,5 ц/га (табл. 5). Более высокое содержание азота (1,28 %) в соломе отмечено в варианте с инокуляцией семян гороха ризобияльным инокулянтном на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ с некорневой подкормкой МикроСтим В. Вынос элементов питания соломой в данном варианте опыта также был наибольшим. В большинстве удобренных вариантов опыта содержание фосфора и калия в соломе варьировало в незначительных пределах и составляло по фосфору 0,22–0,34 % и 1,75–2,08 % по калию.

Таблица 5

Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность соломы, содержание в ней элементов питания и их вынос в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	Урожайность соломы, ц/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания соломой, кг/га		
		процент на сухое вещество			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	21,2	0,92	0,21	1,27	18,8	3,7	23,2
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	30,4	1,09	0,25	1,75	27,1	6,0	46,7
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	34,2	0,98	0,22	1,86	28,0	6,3	55,8
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	35,8	1,08	0,24	1,80	32,7	7,1	58,1
5. АФК с В и Мо (НРК эквивалентной варианту 3)	39,6	1,21	0,26	1,79	40,7	8,5	62,3
6. Фон + В и Мо	37,5	1,06	0,24	1,68	33,6	7,4	56,8
7. Фон + Адоб В	39,8	1,45	0,34	2,08	46,5	10,6	72,2
8. Фон + Кристалон	41,4	1,13	0,25	1,89	39,0	8,5	70,3

Вариант	Урожай- ность соломы, ц/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания соломой, кг/га		
		процент на сухое вещество			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
9. Фон + Экосил	39,9	1,20	0,32	1,70	39,9	10,3	60,9
10. Фон + МикроСтим В	39,5	1,06	0,24	1,86	35,4	7,9	66,7
11. Фон + инокулянт	44,0	1,22	0,25	1,95	44,7	9,1	77,3
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	44,5	1,28	0,28	1,99	47,3	10,5	79,0
НСР ₀₅	1,3	0,30	0,07	0,44	–	–	–

Хозяйственный вынос элементов питания у полевого гороха увеличивался в зависимости от применяемых макро- и микроудобрений, регуляторов роста и инокуляции семян. Наибольший вынос элементов питания отмечен в варианте с применением N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим В. Удельный вынос по азоту и фосфору возрос в удобряемых вариантах по сравнению с вариантом, где удобрения не вносили (табл. 6). Удельный вынос элементов питания варьировал в удобряемых вариантах опыта по азоту – 42,8–48,1, фосфору – 11,6–12,7 и по калию – 29,6–30,9 кг/т основной продукции с учетом побочной.

Таблица 6

Влияние новых форм удобрений и регуляторов роста на хозяйственный и удельный вынос элементов питания в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	Хозяйственный вынос элемен- тов питания, кг/га			Удельный вынос элементов питания (кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	72,4	19,3	44,5	40,7	10,8	25,0
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	107,4	28,5	77,1	42,8	11,6	29,6
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	120,1	32,8	89,7	42,2	11,8	30,7
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	132,7	34,2	93,0	44,3	11,7	29,8
5. АФК с В и Мо (НРК эк- вивалентно варианту 3)	151,8	39,0	101,0	46,0	12,0	29,8
6. Фон + В и Мо	137,5	35,6	91,1	43,9	11,5	28,1
7. Фон + Адоб В	156,9	40,6	108,6	48,1	12,7	32,0
8. Фон + Кристалон	154,3	39,9	108,4	44,8	11,9	30,2
9. Фон + Экосил	151,1	41,0	97,8	45,5	12,6	28,4
10. Фон + МикроСтим В	144,7	38,5	102,8	43,8	11,9	29,8
11. Фон + инокулянт	167,1	43,0	117,2	45,9	12,0	30,8
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	175,4	45,4	119,0	47,6	12,5	30,9

Существенно возрос выход переваримого протеина в вариантах с применением удобрений, регуляторов роста и инокуляцией семян ризобияльным инокулянтном. Выход переваримого протеина в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтном в варианте N₁₈P₆₃K₉₆ достигал 6,45 и N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим В –

6,72 ц/га (табл. 7). Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином была наиболее высокой в вариантах с использованием микроэлемента бора на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ – Адоб В и внесении комплексного АФК удобрения с В и Мо, составила 130 г.

Таблица 7

Влияние удобрений и регуляторов роста на кормовую ценность гороха в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	Выход, ц/га к. ед.	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, г
1. Без удобрений	24,7	3,04	122
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	35,5	4,43	126
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	39,9	5,05	127
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	41,9	5,40	129
5. АФК с В и Мо (NPK эквивалентно варианту 3)	46,2	5,98	130
6. Фон + В и Мо	43,7	5,58	127
7. Фон + Адоб В	46,4	6,00	130
8. Фон + Кристалон	48,3	6,13	126
9. Фон + Экосил	46,5	5,95	128
10. Фон + МикроСтим В	46,2	5,83	126
11. Фон + инокулянт	51,3	6,45	126
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	51,9	6,72	129

При расчете экономической эффективности стоимость всей полученной прибавки и чистый доход рассчитаны в ценах на 1. 12. 2018 г., выражены в долларах США и позволяют определить более выгодные варианты систем удобрения (табл. 8). Для определения чистого дохода предварительно рассчитывали стоимость прибавки урожая, полученной за счет применения удобрений, инокуляции семян, регулятора роста и микроэлементов, а также затраты на их применение, уборку и доработку полученной прибавки урожая.

Таблица 8

Экономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании гороха (среднее за 2015–2017 гг.)

Вариант	Прибавка, т/га	Стоимость прибавки, USD/га	Затраты на получение прибавки, USD /га	Чистый доход, USD /га	Рентабельность, %
Без удобрений	–	–	–	–	–
$N_{10}P_{40}K_{60}$	0,77	88,6	49,7	38,8	78,0
$N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	1,08	124,2	74,2	50,0	67,3
$N_{30}P_{75}K_{120}$	1,22	140,3	87,0	53,3	61,3
АФК с В и Мо (NPK эквивалентно варианту 3)	1,53	176,0	132,6	43,4	32,7

Вариант	Прибавка, т/га	Стоимость прибавки, USD/га	Затраты на получение прибавки, USD /га	Чистый доход, USD /га	Рентабельность, %
Фон + В и Мо	1,35	155,3	88,0	67,3	76,5
Фон + Адоб В	1,55	178,3	95,7	82,6	86,4
Фон + Кристалон	1,68	193,2	123,0	70,2	57,0
Фон + Экосил	1,55	178,3	97,6	80,7	82,7
Фон + МикроСтим В	1,53	176,0	94,1	81,9	87,0
Фон + инокулянт	1,89	217,4	107,0	110,4	103,2
Фон + инокулянт + МикроСтим В	1,94	223,1	113,6	109,5	96,4

Все варианты опыта с применением удобрений на горохе посевном обеспечивали получение чистого дохода и были рентабельны. Наибольший чистый доход получен в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ – 110,4 USD/га, в варианте с инокуляцией семян и применением Микростима В – 109,5, а также в вариантах при применении Микростим В и Адоб В на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ – 81,9 и 82,6 USD/га.

Более высокой рентабельность отмечена на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом – 103,2 %, с применением МикроСтим В – 96,4 %, а также МикроСтим В – 87,0 %. Несколько ниже эти показатели были при применении Адоб В, Экосила, В и Мо на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$. Рентабельность при применении АФК удобрения с В и Мо была ниже, чем в других вариантах, в связи с высокими ценами на данное удобрение.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение комплексного АФК удобрения с В и Мо повышало урожайность семян посевного гороха по сравнению с внесением аммофоса и хлористого калия в эквивалентных по азоту, фосфору и калию дозах $N_{18}P_{63}K_{96}$ на 4,5 ц/га.

2. Обработка посевов Адоб В и МикроСтим В на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ увеличивала урожайность семян гороха на 4,7 и 4,5 ц/га, а Экосилом и Кристаллоном – на 4,7 и 6,0 ц/га.

3. Инокуляция семян гороха ризобияльным инокулянтом на фонах $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим В увеличивала урожайность семян на 8,1 и 8,6 ц/га и обеспечивала наибольшую урожайность (36,6 и 37,1 ц/га), выход сырого белка (7,5 и 7,82 ц/га), переваримого протеина (6,42 и 6,72 ц/га).

4. Наиболее высоким чистый доход (110,4 – 109,5 USD/г) и рентабельность (103,2 – 96,4 %) были в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и с внесением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим В. Экономические показатели при применении Адоб В, Экосила и МикроСтим В на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ снижались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур при комплексном применении макро, микроудобрений, регуляторов роста и бактериальных препаратов (рекомендации) / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – 34 с.
2. *Персикова, Т. Ф.* Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси / Т.Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, А. В. Какшинцев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – 179 с.
3. *Какшинцев, А. В.* Эффективность регуляторов роста, бактериальных препаратов и способов внесения удобрений в зависимости от сорта люпина узколистного: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / А. В. Какшинцев; РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2004. – 22 с.
4. *Мишура, О. И.* Эффективность применения микроудобрений, бактериальных препаратов и регуляторов роста при возделывании гороха и овса на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О. И. Мишура. – Горки, 2005. – 191 л.
5. *Завалин, А. А.* Биопрепараты, удобрения и урожай / А. А. Завалин. – М.: Издательство ВНИИА, 2005. – 302 с.
6. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.
7. *Дзямбіцкі, М. Ф.* Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Вес. Акад. аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

THE EFFICACY OF MACRO-, MICRO-ELEMENTS, GROWTH REGULATOR AND RHISOBIAL INOCULANT IN THE CULTIVATION OF FIELD PEAS

I. R. Vildflush, O. V. Malashevskaya

Summary

The article presents the results of the study of the use of macro -, micro-elements, growth regulator and rhisobial inoculant in the cultivation of field peas on sod-podzolic loamy soil. The influence of factors on the yield of seeds, raw protein and digestible protein, profitability and net income was studied.

The use of NPK fertilizer with B and Mo increased the yield of seeds of sowing peas by 4,5 c/ha compared to the introduction applicate of an equivalent dose of $N_{18}P_{63}K_{96}$ of ammophos and potassium chloride. Adob B and Ecosil on the background of $N_{18}P_{63}K_{96}$ increased the yield of pea seeds by 4.7 c/ha, and Microstim B and Crystallon – by 4,5 and 6,0 c/ha. Inoculation of pea seeds with rhizobial inoculants on the background of $N_{18}P_{63}K_{96}$ and $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Microstim B provided maximum seed yield (36,6 and 37,1 c/ha), yield of crude protein (7,50 and 7,82 c/ha) and digestible protein (6,45 and 6,72 c/ha).

Поступила 27.11.19

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.48

Лапа В. В., Матыченков Д. В., Азаренок Т. Н. Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 7.

Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова направлена на обеспечение оптимизации требований сельскохозяйственных культур к свойствам почвенного покрова, возможности прогнозирования и корректировки отдельных его свойств для использования в сельскохозяйственном производстве. Создаваемая система является научно-методическим обеспечением сельскохозяйственного производства и позволит с наименьшими материальными затратами существенно повысить экономическую эффективность получения растениеводческой продукции.

Табл. 1. Рис. 2. Библиогр. 6.

УДК 631.47

Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В., Дыдышко С. В. Оценка почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 15.

В статье дана характеристика современного состояния почвенно-ресурсного потенциала пахотных земель сельскохозяйственных организаций Беларуси, включающая оценку плодородия почв и наличие площадей пахотных земель в республике, областях и отдельных районах. Установлены показатели, характеризующие количественную оценку почвенно-ресурсного потенциала и их связь с производительной способностью земель.

Табл. 8. Библиогр. 15.

УДК 630.116.4

Цыбулько Н. Н., Волович П. И., Устинова А. М., Касьянчик С. А., Цырибко В. Б. Современное состояние полезащитных насаждений в агроландшафтах Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – № 2(63). – С. 24.

В статье приведены данные о количестве, санитарном состоянии, росте и развитии полезащитных насаждений в современных агроландшафтах в районах с высокой вероятностью проявления водно-эрозионных и дефляционных процессов. Обозначены направления формирования агролесомелиоративных

комплексов через организацию системы защитных насаждений разных видов и породного состава на пахотных землях, вдоль дорог, каналов и т.д., увеличение их защитных функций и повышение уровня защитной лесистости агроландшафтов.

Рис. 5. Табл. 7. Библиогр. 12.

УДК 631.4+551.506.3

Цырыбка В. Б., Усцінава Г. М., Міцькова А. А., Кас'янчык С. А., Радзюк Г. Э., Юхнавец А. В., Лагачоў І. А. Вынікі маніторынгу снежнага покрыва схілавых сельскагаспадарчых зямель у ранневясенні перыяд // Глебазнаўства і аграхімія. – 2019. – № 2(63). – С. 38.

У артыкуле прааналізаваны вынікі маніторынгу снежнага покрыва схілавых зямель вопытных стацыянараў «Мяжаны» і «Стокавыя пляцоўкі» за 2001–2019 гады, ацэнены максімальны патэнцыйны сцек пры снегараставанні, а таксама выяўлена залежнасць вільготнасці глеб на глыбінях 30–50 см ад запасаў вады ў снезе.

Табл. 4. Мал. 4. Бібліягр. 20.

УДК 631.43:631.8:633.16

Уваренко Е. Ю. Влияние плотности сложения черноземной почвы на минеральное питание различных по интенсивности сортов ячменя ярового // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 46.

В статье показано влияние плотности сложения пахотного слоя черноземной почвы на вынос и использование основных элементов питания различными по интенсивности сортами ячменя ярового и их урожайность; рассчитана экономическую эффективность внесения минеральных удобрений при различных уровнях уплотнения почвы. Доказано, что высокая плотность почвы (1,4 г/см³) приводит к снижению усвоения элементов питания растениями ячменя и негативно влияет на урожайность культуры.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 15.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК [631.85+631.83]:[630*114.52:631.445.24]

Лапа В. В., Семененко Н. Н., Мезенцева Е. Г., Ивахненко Н. Н., Грачева А. А. Длительность последствия фосфорных и калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 56.

В статье приведены результаты многолетних исследований по оценке влияния систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур, длитель-

ность последствия фосфорных и калийных удобрений и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Установлено, что длительный дефицит того или иного элемента минерального питания оказывает существенное влияние на агрохимическую деградацию и плодородие почв. Исследования показали, что при исключении фосфорных и калийных удобрений из системы удобрения ежегодные потери подвижного фосфора и калия составляют около 3 и 8 мг/кг почвы в год соответственно.

Табл. 7. Рис. 4. Библиогр. 21.

УДК 631.85

Богдевич И. М., Путятин Ю. В., Станилевич И. С., Ломонос О. Л. Изменение обеспеченности фосфором пахотных и луговых почв Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(63). – С. 68.

Анализ результатов крупномасштабного обследования почв за 2001–2016 гг. показал нарастающий дефицит фосфора и повышение пестроты содержания подвижных фосфатов в пахотных и луговых почвах ряда районов Беларуси. Обоснована необходимость увеличения ресурсов фосфорных удобрений в районах с преобладанием потенциально плодородных суглинистых почв и снижения накопления не востребуемых запасов подвижных фосфатов в песчаных почвах. Предложены дифференцированные нормативы среднегодовых показателей баланса фосфора для оптимизации обеспеченности пахотных почв фосфором по районам республики.

Табл. 5. Рис. 3. Библиогр. 18.

УДК 631.862:631.417.2:631.445.24

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Касьяненко И. И. Влияние регулярного внесения жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на показатели гумусового состояния дерново-подзолистых почв // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 79.

Представлены данные по влиянию систематического воздействия жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на показатели гумусового состояния дерново-подзолистых почв. По истечении 20–30 лет в почвах вблизи животноводческих комплексов установлена положительная направленность в изменении гумусового состояния: относительное содержание ГК-2 увеличилось на 3,1–5,7 %, доля ГК-2 в сумме гуминовых кислот – на 9–22 %; степень гумификации органического вещества – на 6,7–8,4 % при расширении $C_{ГК}/C_{ФК}$ – до 0,70–1,00, $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$ – до 0,80–2,27 и уменьшении показателя $P_{лаб}$ – на 9–23 %, что указывало на стабилизацию гумусового комплекса и усиление признака гуматности почв. При сроке внесения жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков до 10 лет выявлены признаки деграционных изменений в составе гумуса: относительное содержание ГК-2 уменьшилось до 3,5–4,5 % от $C_{общ}$, доля ГК-2 в сумме гуминовых кислот – до 22–26 %, отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ – до 0,48–0,54, $C_{ГК-2}/C_{ФК-2}$ – до

0,70–0,81, $P_{\text{лаб}}$ увеличился в 1,5–2,0 раза, что свидетельствовало о фульватной направленности процесса гумусообразования.

Табл. 4. Библиогр. 16.

УДК 631.81:633.15:631.445.24

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Касьянчик С. А., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М. Влияние разных систем удобрения на агроэкономическую эффективность возделывания кукурузы на зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 90.

В полевом технологическом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что наиболее агроэкономически эффективным было внесение по фону соломы $N_{45+30}P_{45}K_{75}$ с некорневой обработкой стимулятором роста Агропон С: урожайность составила 113,0 ц/га, условно чистый доход – 485 USD/га, рентабельность – 174 % при себестоимости 1 т прибавки зерна кукурузы 47 USD. При данной системе удобрения содержание гумуса и подвижных форм фосфора и калия за годы исследования осталось на исходном уровне или близком к исходному.

Табл. 3. Рис. 7. Библиогр. 10.

УДК 631.816:[633.12+633.491]:631.445.24

Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Исаева О. И., Некрасова И. Н., Голоскок Е. Н., Миронова Е. Н. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 102.

В статье приведены данные по изучению влияния разных форм серосодержащих минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества зерна гречихи и клубней картофеля при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Выявлены наиболее эффективные формы удобрений для основного внесения в почву при возделывании гречихи и картофеля.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.816:[631.559:633.853.494]:631.445.24

Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Исаева О. И., Некрасова И. Н., Голоскок Е. Н., Миронова Е. Н. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 114.

В статье приведены данные по эффективности разных форм серосодержащих минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества семян рапса озимого и ярового при возделывании на дерново-подзолистой рыхло-

супесчаной почве. Выявлены наиболее эффективные формы удобрений для основного внесения в почву при возделывании рапса ярового и в подкормки – рапса озимого.

Табл. 4 Библиогр. 5.

УДК 631.812.2:633:631.445.2

Рак М. В., Титова С. А., Иванова Н. С., Гук Л. Н., Артюх Ю. А. Агрономическая и экономическая эффективность микроудобрений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 125.

В статье представлены результаты исследований по изучению эффективности применения жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой почве. Установлено, что некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрениями в период вегетации повышают урожайность, улучшают качество зерна и являются экономически эффективным приемом.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.8(633.16+633.14):631.445.24

Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Цыбулько Н. Н., Юзефович Е. К., Устинова А. М., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Эффективность микобактериальной композиции на посевах ячменя ярового и ржи озимой на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 135.

В статье показано, что трехкомпонентная микобактериальная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* является эффективным инокулянтном для ячменя ярового и ржи озимой при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках. Установлено, что микобактериальная композиция сочетает свойства биоудобрения, регулятора роста и биофунгицида. Ее применение путем обработки посевов повышает урожайность зерновых культур, снижает пораженность растений корневыми инфекциями, улучшает качество зерна по содержанию белкового азота.

Табл. 8. Рис. Библиогр. 20

УДК 631.8:633.35

Вильдфлуш И. Р., Малашевская О. В. Эффективность применения макро-, микроэлементов, регулятора роста и ризобияльного инокулянта при возделывании полевого гороха // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(63). – С. 148.

В статье представлены результаты исследования применения макро-, микроэлементов, регулятора роста и ризобияльного инокулянта при возделывании

полевого гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено влияние исследуемых факторов на урожайность семян, выход сырого белка и переваримого протеина, рассчитана рентабельность и чистый доход.

Применение АФК удобрения с В и Мо увеличило урожайность семян посевного гороха на 4,5 ц/га по сравнению с внесением в эквивалентной дозе $N_{18}P_{63}K_{96}$ аммофоса и хлористого калия. Обработка посевов Адоб В и Экосилом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ повышала урожайность семян гороха на 4,7 ц/га, а МикроСтим В и Кристаллоном – на 4,5 и 6,0 ц/га. Инокуляция семян гороха ризобиальным инокулянтом на фонах $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим В обеспечивала наибольшую урожайность семян (36,6 и 37,1 ц/га), выход сырого белка (7,50 и 7,82 ц/га) и переваримого протеина (6,45 и 6,72 ц/га).

Табл. 8. Библиогр. 7.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 01.04.2014 № 94 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 13.01.2017 № 6), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методы и объекты исследования, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Все материалы представляются в электронном виде.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.